



Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y
BIOCIENCIAS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARITZAKO ETA BIOZIENTZIETAKO GOI MAILAKO
ESKOLA TEKNIKOA***

*INFLUENCIA DE LA GESTIÓN FORESTAL SOBRE LA PRODUCCIÓN DE DESFRONDE EN DOS BOSQUES
DEL PIRINEO NAVARRO*

presentado por

KALEN GORRIA GARDE (e)k

aurkeztua

GRADO INGENIERIA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL
GRADUA NEKAZARITZAKO ELIKAGAIEN ETA LANDA INGURUNEAREN INGENIERITZAN

Mayo, 2020 / 2020, *Maiatza*

El Trabajo Fin de Estudios titulado:

Grado amaierako lan hau:

Influencia de la gestión forestal sobre la producción de desfronde en dos bosques del Pirineo Navarro.

Presentado por:

Nork aurkeztua:

Kalen Gorria Garde

Para optar al Grado en:

Grado hau eskuratzeko:

Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

Ha sido realizado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Pública de Navarra, en el Departamento de:

Nafarroako Unibertsitate Publikoko Nekazaritza Ingeniarien Goi Mailako Eskola Teknikoko sail honetan:

Ciencias del Medio Natural

Bajo la dirección del Dr./Dra.

Noren zuzendaritzapean:

Juan Antonio Blanco Vaca

En Pamplona, el día:

Iruñean, egun honetan:

20/05/2020

Fdo./Stua.: Kalen Gorria Garde

Fdo./Stua.: Juan Antonio Blanco Vaca



Estudiante / ikaslea

Director/a / zuzendaria

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Juan Antonio Blanco, director de este Trabajo Fin de Grado, por su interés, dedicación y disponibilidad prestada durante estos meses, ya que debido al cierre de la universidad por el Covid-19 la resolución de dudas vía online ha sido más complicada, y sin su ayuda la realización de este trabajo no habría sido posible.

También agradecer al resto del Grupo de Ecología Antonio, David y Bosco, por su compañía y ayuda prestada en la recogida de datos de campo.

Y, en especial a mi familia, amigos y amigas que se han preocupado por mí, y me han seguido motivando y ayudando durante el tiempo que ha durado el grado, sin ellos no habría sido posible llegar hasta aquí.

Muchas gracias / Eskerrik asko.

RESUMEN

El presente trabajo ha estudiado los efectos de las distintas intensidades de claras en el desfronde de dos bosques situados en el Pirineo Navarro próximos a las localidades de Aspurz y de Garde durante el otoño de 2019. Se establecieron 9 parcelas de 30 x 40 m y una distribución al azar de distintos porcentajes de retirada de su área basal con 3 parcelas testigo con 0% de clara, 3 parcelas con 20% y 3 parcelas con 30%. Los tratamientos de clara se llevaron a cabo en 1999 y en Aspurz se hizo una nueva clara en 2009. Desde el año 1999 en estas parcelas se han realizado diversos estudios en relación de los efectos que tiene la gestión forestal de las claras.

El principal objetivo de este estudio fue analizar los efectos que tienen las distintas intensidades de clara sobre la producción de desfronde en ambas localidades y ver si todavía existen efectos significativos de los tratamientos forestales. Para ello fue necesario acudir a las parcelas a recoger muestras que después en el laboratorio se separaron en las distintas fracciones que componen el desfronde (hojas de pino, hojas de haya, ramas de pino, miscelánea y hojas de otros árboles). Estas muestras se pesaron y los datos se pasaron a formato digital para realizar las gráficas correspondientes y el análisis estadístico.

Los resultados mostraron que tras 20 años en Garde y 10 años en Aspurz desde la última clara, en la mayoría de las variables estudiadas no se detectaron diferencias significativas entre las distintas intensidades de clara de 0%, 20% y 30%. Las únicas variables para las que se detectaron diferencias en los tratamientos fueron para las ramas de pino y las hojas de otros árboles. En las ramas de pino, los resultados mostraron como las parcelas sin claras tuvieron una mayor producción que las parcelas con una clara del 20%, y, a la vez, que la clara del 30% fue igual al control como a la clara del 20%. En la producción de hojas de otros árboles, los resultados mostraron como en las parcelas con clara del 30% hubo una producción mayor de hojas de otros árboles.

Se vio la gran influencia que tiene el clima propio de cada localidad. La producción total media que se obtuvo en Aspurz (2.539 kg/ha) fue mayor a la obtenida en Garde (1.952 kg/ha). En Garde, la producción de hoja de pino (1.528 kg/ha) fue la fracción que más ocupó respecto al total del desfronde y fue mayor que en Aspurz (677 kg/ha). Sin embargo, en Aspurz fue la hoja de haya (960 kg/ha) la que ocupó la mayor parte del desfronde y fue mayor que en Garde (20 kg/ha).

Las diferencias entre las producciones del dosel mixto (3.001 kg/ha) y el dosel puro (2.077 kg/ha) en Aspurz fueron principalmente debidas a la producción de hojas de haya, ya que en el dosel mixto las hojas de haya tuvieron una producción de 1383 kg/ha, mientras que en el dosel puro fueron de 536 kg/ha.

PALABRAS CLAVE: claras, hojarasca, pino silvestre, gestión forestal, Pirineo.

ABSTRACT

The present work has studied the effects of different thinning intensities in the litterfall of two forests located in the Navarrese Pyrenees, near the towns of Aspurz and Garde during the autumn of 2019. Nine plots of 30 x 40 m per site had a randomly distribution of different percentages of thinning, measured in removed basal area: three control plots with 0%, 3 plots with 20% and 3 plots with 30%. Thinning treatments were carried out at both sites in 1999 and in Aspurz a new thinning was carried out in 2009. Since 1999, different studies have been carried out on these plots in relation to the effects of forest thinning management.

The main objective of this study was to analyze the effects that the different thinning intensities have on litterfall production in both forests and whether there still are significant effects of forest treatments. To do this, it was necessary to go to the plots to collect samples that were later separated in the laboratory into the different fractions that are part of the litterfall (needles, beech leaves, pine branches, miscellaneous material and leaves from other trees). These samples were then weighted and the data was transferred to digital format to carry out the corresponding graphs and statistical analysis.

The results showed that after 20 years in Garde and 10 years in Aspurz since the last thinning, in most of the variables studied no significant differences were detected between the different thinning intensities of 0%, 20% and 30%. The only variables for which differences in treatments were detected were pine branches and leaves of other trees. For pine branches, the results showed that the plots without thinning had a higher production than the plots with a thinning of 20%, and, at the same time, that the plot of 30% was equal to the control as to the plot of 20 %. For the production of leaves from other trees, the results showed that in the 30% plots there was a higher production of leaves from other trees.

The influence of the climate of each locality was clear. The total average production obtained in Aspurz (2.539 kg/ha) was higher than that obtained in Garde (1.952 kg/ha). In Garde, needle production (1.528 kg/ha) was the fraction that took up most of litterfall, and it was higher than in Aspurz (677 kg/ha). However, in Aspurz it was the beech leaves production (960 kg/ha) that took up most of the litterfall, and it was higher than in Garde (20 kg/ha).

The differences between the productions of the mixed canopy (3.001 kg/ha) and the pure canopy (2.077 kg/ha) in Aspurz were mainly due to the production of beech leaves, while in the mixed canopy the beech leaves had a production 1383 kg/ha, in the pure canopy were 536 kg/ha.

KEY WORDS: thinning, litterfall, Scots pine, forest management, Pyrenees.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. EL BOSQUE	1
1.1.1. IMPORTANCIA Y FUNCIONES DEL BOSQUE	1
1.1.2. SITUACIÓN DE LOS BOSQUES EN EUROPA	2
1.1.3. SITUACIÓN DE LOS BOSQUES EN ESPAÑA	3
1.1.4. SITUACIÓN DE LOS BOSQUES EN NAVARRA	4
1.2. GESTIÓN FORESTAL EN NAVARRA	5
1.3. TIPOS DE CLARAS	5
1.3.1. CLARA BAJA O ALEMANA	6
1.3.2. CLARA ALTA, DE COPA O FRANCESA	6
1.3.3. CLARA DE SELECCIÓN O DANESA	7
1.3.4. CLARA MECÁNICA O SISTEMÁTICA	7
1.4. CICLO DE NUTRIENTES DEL BOSQUE	8
1.4.1. CICLO EXTERNO DE NUTRIENTES	8
1.4.2. CICLO INTERNO DE NUTRIENTES	10
1.5. ANTECEDENTES	12
1.6. HIPÓTESIS	13
2. OBJETIVOS	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	16
3.1.1. LOCALIZACIÓN DE LAS PARCELAS	16
3.1.2. CLIMATOLOGÍA Y METEOROLOGÍA	19
3.1.3. VEGETACIÓN	22
3.2. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO	24
3.2.1. DISEÑO DEL ESTUDIO	24
3.2.2. RECOGIDA DE MUESTRAS	25
3.2.3. TRABAJO EN LABORATORIO	26
3.2.4. ANÁLISIS DE DATOS	27
4. RESULTADOS	29
4.1. EFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO POR TIPO DE HOJARASCA	29
4.1.1. HOJAS DE PINO	29
4.1.2. HOJAS DE HAYA	30
4.1.3. RAMAS DE PINO	31
4.1.4. MISCELÁNEA	31
4.1.5. HOJAS DE OTROS ÁRBOLES	32
4.2. EFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO EN DESFRONDE TOTAL	33
4.3. EFECTO DE SITIO, DOSEL Y TRATAMIENTO EN EL DESFRONDE TOTAL DE CADA TIPO DE HOJARASCA	35
4.3.1. HOJAS DE PINO	35

4.3.2.	HOJAS DE HAYA	35
4.3.3.	RAMAS DE PINO	36
4.3.4.	MISCELÁNEA	37
4.3.5.	HOJAS DE OTROS ÁRBOLES	38
4.4.	EFFECTO DE SITIO, DOSEL Y TRATAMIENTO POR DESFRONDE TOTAL	38
5.	DISCUSIÓN	40
5.1.	INFLUENCIA DEL SITIO (GARDE/ASPURZ)	40
5.2.	INFLUENCIA DEL DOSEL	43
5.3.	EFFECTO DE LAS CLARAS	45
6.	CONCLUSIONES	47
7.	BIBLIOGRAFÍA	49

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El bosque

El bosque según la RAE es “sitio poblado de árboles y matas”. Una definición más exacta del concepto sería, un bosque es un ecosistema natural complejo, dominado por especies arbóreas autóctonas locales y su vegetación acompañante, animales, hongos y microorganismos del suelo. Todos estos elementos establecen entre sí interrelaciones perdurables en el tiempo, autoabasteciéndose sin necesidad de la intervención del ser humano (ARBA, 2011).

Existen diferentes tipos de bosques según distintos parámetros: tipo de vegetación, latitud, clima, grado de intervención, y demás. Según el grado de intervención, encontramos los bosques primarios o nativos, que como indica su nombre son bosques vírgenes que no han sufrido la intervención del hombre, por ejemplo, la selva amazónica, y los bosques secundarios, los cuales han sido intervenidos por el hombre con una intensidad o frecuencia suficiente para generar cambios en los patrones, por ejemplo, un bosque incendiado o talado que se ha regenerado con el tiempo.

1.1.1. Importancia y funciones del bosque

La importancia del bosque radica en varios aspectos. Por un lado, las masas boscosas regulan el ciclo del agua, reteniendo el agua de lluvia y facilitando una lenta infiltración en el suelo y de este modo recargando los acuíferos. Cuando llueve sobre un bosque, el agua que cae queda frenada por las copas de los árboles más altos, escurriendo lentamente por las ramas y troncos hasta llegar al suelo, de manera que se amortigua la fuerza de su caída y la pérdida del suelo por erosión, evitando que esta golpee directamente en el suelo. Por otro lado, al sujetar la tierra con sus raíces, las plantas evitan que se pierda el suelo por escorrentía. La caída de material vegetal y otros restos orgánicos, al descomponerse por la acción de microorganismos y mineralizarse, va formando suelo fértil. Además, ofrecen multitud de hábitats distintos, por lo que en ellos se puede encontrar una gran variedad de especies animales y vegetales. Son, por tanto, las principales reservas de diversidad biológica.

Siempre se ha dicho que los bosques son los pulmones de la tierra. La función clorofílica, entre otras funciones, consiste en tomar del aire el CO₂ y liberar oxígeno. Un bosque genera entre dos y tres veces más oxígeno que cualquier otro tipo de cultivo de igual superficie (ARBA, 2011).

Al mismo tiempo, los bosques ayudan a mitigar los efectos del cambio climático al absorber el dióxido de carbono de la atmósfera y convertirlo, a través de la fotosíntesis, en carbono que “almacenan” en forma de madera y vegetación. Este proceso se denomina “fijación del carbono” (FAO, 2006)

Los bosques, además, son sistemas multifuncionales que cumplen diferentes funciones, aunque están agrupadas en distintos grupos están interrelacionadas unas con otras. La ciencia de la política forestal las agrupa en 4 tipos principales según el Plan Forestal de Navarra: funciones biológicas, funciones ambientales, funciones económico-sociales y funciones de uso público-turístico-recreativo.

- Funciones biológicas.

Son las aportaciones que hacen los bosques para mantener la capacidad productiva de la biodiversidad y del patrimonio genético, contribuyendo a la protección del patrimonio natural.

- Funciones ambientales.

Son las aportaciones para por un lado, la protección del medio físico y el mantenimiento de la calidad de los recursos naturales (regulación del ciclo hídrico, mejora de los procesos edáficos y de la conservación del suelo, limpieza de la atmósfera, aumento de la calidad del agua, control de la erosión) y por otro lado, para la preservación de las infraestructuras antrópicas (mantenimiento de la capacidad productiva de los terrenos agrícolas, reducción del riesgo de inundaciones, protección de carreteras, mejora de la productividad hidroeléctrica).

- Funciones económico-sociales.

Son las aportaciones que hacen al bienestar material de la sociedad y comprenden aspectos productivos (producción de bienes demandados por la industria y el mercado), macroeconómicos (PIB, formación bruta de capital), laborales (puntos de trabajo), microeconómicos (generación de un valor añadido comercial en zonas de montaña), y patrimoniales (aportación de rentas a los propietarios forestales).

- Funciones de uso público-turístico-recreativo.

Son las aportaciones que hacen al bienestar social, físico, psíquico y espiritual de los ciudadanos. Puede ser naturaleza pasiva (preservación y cuidado de la estética y el paisaje o de lugares y monumentos) o naturaleza activa (esparcimiento y recreo, deporte, caza y pesca o de simple contacto con la naturaleza) (Gobierno de Navarra., 1999).

1.1.2. Situación de los bosques en Europa

El porcentaje de superficie forestal en la UE en 2015 era del 36,1 % considerando solo bosques y el 40,8 % incluyendo otras zonas con leñosas (arbolado claro y matorral). En datos absolutos, la UE tiene 182 millones de hectáreas forestales (un 5 % de la superficie forestal mundial), de las que 161 millones son bosques. Los seis Estados miembros con mayor superficie forestal, Suecia, Finlandia, España, Francia, Alemania y Polonia, suman las dos terceras partes de la superficie forestal de la UE (Enríquez de Salamanca & Muñoz, 2018).

La UE tiene diferentes tipos de bosque, reflejo de su diversidad geoclimática (boreales, templados, mediterráneos, etc.). Solo el 4 % del área boscosa no ha sido modificada por la intervención humana; el 8 % son plantaciones, y el resto bosques “seminaturales”, intervenidos por el hombre. La mayoría de los bosques europeos, un 60 % son de propiedad privada frente a un 40 % de propiedad pública (Nègre, 2020).

Los bosques proporcionan numerosos servicios ecosistémicos, como la protección del suelo, formar parte del ciclo del agua, regular el clima local y global y proteger la biodiversidad. Desde un punto de vista socioeconómico generan recursos, en especial madera. Suman 26.534 millones de metros cúbicos de madera con una clara tendencia creciente de 295 millones de metros cúbicos de media al año, cuyos usos principales son para generación de energía (42 %), aserraderos (24 %), papel (17 %) y tableros (12 %). Los bosques también son fuente de productos no madereros como frutos y hongos, corcho, resinas y aceites, y servicios como caza, recreo o turismo. Son fuentes de empleo, especialmente en zonas rurales. El sector forestal genera empleo para unos 2,6 millones de personas (Nègre, 2020).

La protección de la biodiversidad está muy relacionada con la protección de los terrenos forestales, ya que la mayor parte de la diversidad animal y vegetal se refugia allí. Los Estados miembros tienen diferentes espacios naturales protegidos destinados a preservar sus valores naturales más notables.

1.1.3. Situación de los bosques en España

Los ecosistemas forestales de España ocupan algo más de 26 millones de hectáreas, de las cuales casi 15 millones están arboladas y unas 12 desarboladas, que suponen respectivamente el 29 % y el 23 % del territorio nacional. Los bosques de coníferas tienen parecida extensión a los de frondosas (5,7 y 5,2 millones de hectáreas, respectivamente) mientras que los mixtos pueblan algo menos (3,9 millones de hectáreas) (MAPA, 2020). El 70,8 % de este terreno forestal en España está en manos de propietarios privados, frente al 29,2 % de espacios que son de titularidad pública (Agroinformacion, 2017).

La provincia con mayor extensión de monte arbolado es Cáceres, seguida de Badajoz, Cuenca y Huelva, siendo las de menor Almería, Alicante y Las Palmas. La biomasa arbórea total suma 683 millones de metros cúbicos siendo la de mayor volumen Navarra, continuada por A Coruña, Asturias, Lugo y Lleida, y las de menor Almería, Alicante y Las Palmas.

Entre los árboles del grupo frondosas la especie con mayor presencia es la encina (*Quercus ilex*), seguida del roble negro (*Quercus pirenaica*), el eucalipto (*Eucalyptus spp.*) y el alcornoque (*Quercus suber*). En lo que respecta a las coníferas la especie de mayor ocupación territorial es el pino carrasco o de alepo (*Pinus halepensis*), seguida del pino rodeno o marítimo (*Pinus pinaster*), pino silvestre o rojo (*Pinus sylvestris*) y pino laricio (*Pinus nigra*).

Los crecimientos anuales de madera de toda España sobrepasan los 30 millones de metros cúbicos, figurando en primer lugar por su cantidad la provincia de A Coruña, seguida de Asturias, Lugo, Navarra y Pontevedra. Más de la mitad de este crecimiento se debe a cuatro especies: el eucalipto y los pinos silvestre, pinaster e insigne o de monterrey (*Pinus radiata*) (MAPA, 2020).

1.1.4. Situación de los bosques en Navarra

En Navarra, el 64% del territorio es forestal y de esa superficie 450.000 hectáreas están cubiertas por árboles, siendo el resto matorrales o pastizales. El 80% de estos bosques son autóctonos y en los últimos 20 años la superficie arbolada en Navarra se ha incrementado en un 24% (Gobierno de Navarra. Medio Ambiente., 2020.)

La alta variabilidad climática, edáfica y orográfica de Navarra hace que los sistemas forestales sean muy diversos. En la zona nororiental de la provincia, en los Valles de Roncal y Salazar, los bosques están compuestos principalmente por pino silvestre, existiendo zonas en las que el haya o el abeto forman masas mixtas, como es el caso de la Selva de Irati. En las zonas más elevadas del Valle de Roncal, en donde los árboles ya no encuentran condiciones óptimas para su crecimiento, el pino negro (*Pinus uncinata*) puebla alguna de sus laderas.

Más hacia el oeste, en los Valles de Aezkoa y Erro, los hayedos son los bosques más representados y, entre ellos, se localizan pequeñas repoblaciones de otras especies, algunas coníferas, como píceas o abetos, y otras frondosas, como cerezos y fresnos, así como pastizales en donde se generan importantes recursos de una ganadería extensiva de calidad.

La zona más noroccidental de Navarra, muy húmeda, está poblada por bosques atlánticos mixtos, aunque el manejo histórico de los mismos ha ido reduciendo su diversidad, siendo su recuperación una prioridad a través de actuaciones de restauración de bosques originarios. Este paisaje se define a su vez por repoblaciones de coníferas de un marcado carácter productor, recordándose, en todo caso, que la inmensa mayoría de los bosques navarros son autóctonos y proceden mayoritariamente de regeneración natural por semilla.

Las formaciones forestales de la zona media y sur de Navarra están caracterizadas por la presencia de robledales mediterráneos, encinas y coscojas principalmente, y formaciones de matorral, algunas de ellas muy relevantes desde el punto de vista ecológico (Olabe et al., 2010).

El haya es el árbol más abundante en Navarra con cerca de 145.000 hectáreas, lo que supone un tercio de las hayas de la Península Ibérica. Seguido del pino silvestre con una superficie forestal de unas 65.000 hectáreas (Gobierno de Navarra. Medio Ambiente., 2020).

Según el Plan Forestal de Navarra realizado la distribución de superficies forestales en Navarra a mediados de los años noventa es la siguiente:

Tabla 1: Distribución de la superficie forestal en Navarra en los años noventa (Gobierno de Navarra., 1999).

USO	superficie (has)	%
Forestal arbolado	362.919	35
Forestal desarbolado	292.013	28
Total forestal	654.932	63
TOTAL NAVARRA	1.039.072	100

En Navarra, el 60% de los bosques es propiedad de las Entidades Locales, montes que se denominan “comunales”, el 30% pertenece a propietarios privados y el resto es propiedad del Gobierno de Navarra (Olabe et al., 2010).

La superficie arbolada ha aumentado desde hace un siglo entre 100.000 y 140.000 hectáreas, entre un 40 y un 70%. Este crecimiento se ha dado en todos los tipos de bosque, sin embargo, las repoblaciones de coníferas han experimentado menos de la mitad de este incremento (Gobierno de Navarra., 1999).

1.2. Gestión forestal en Navarra

A diferencia del rápido ritmo de deforestación de muchos países tropicales y subtropicales, en Navarra la superficie cubierta por bosques aumenta, los árboles invaden territorios antes cultivados y pastoreados indicando una migración paulatina de la población.

Los primeros pobladores utilizaban madera para armas, utensilios, vigas de los caseríos, leña para calentar la casa y demás. El aprovechamiento de los bosques seguía su curso, no de forma sostenible, sino según las necesidades de cada momento. Fue ese uso no ordenado de los bosques el que fue repercutiendo negativamente a la riqueza biológica de los territorios. Los robles, muy cotizados, iban dejando paso a otros árboles que se aprovechaban de su mayor capacidad de colonizar, en Navarra, las hayas.

Así, se comenzaron a planificar actuaciones asegurando cierta sostenibilidad, una gestión forestal que garantice su aprovechamiento y su conservación al mismo tiempo. La planificación forestal permite asegurar la sostenibilidad en la gestión de los montes aprovechados, permite conocer el estado de muchos sistemas forestales y sus potenciales y asegura la correcta conservación de la fauna y la mejora de los hábitats.

La estrategia forestal navarra ha adoptado una postura integradora, defendiendo que el aprovechamiento forestal de los recursos es perfectamente compatible con la conservación de los mismos (Olabe et al., 2010).

1.3. Tipos de claras

Las claras son una de las técnicas silvícolas más utilizadas en la gestión forestal de los bosques. Consisten en una serie de cortas sobre una masa arbórea en la fase juvenil con el fin de estimular el

crecimiento de los árboles que quedan y obtener de ellos productos comerciales. Al reducir el número de árboles, la competencia entre ellos disminuye y, por lo tanto, los árboles que quedan en pie tendrán mayor disponibilidad de luz, agua y nutrientes.

Los árboles se clasifican en 4 tipos diferentes dependiendo de su posición relativa: dominantes (D), codominantes (C-D), intermedios (I) y dominados u ocluidos (O).

1.3.1. Clara baja o alemana

Esta técnica de clara es la más antigua, consiste en cortar los árboles dominados, malformados y muertos, con el objetivo de mejorar la sanidad en general (Figura 1). El problema que tiene es que realmente para favorecer a los árboles dominantes, la intensidad de la clara debe ser fuerte llegando a extraer algún intermedio e incluso algún codominante.

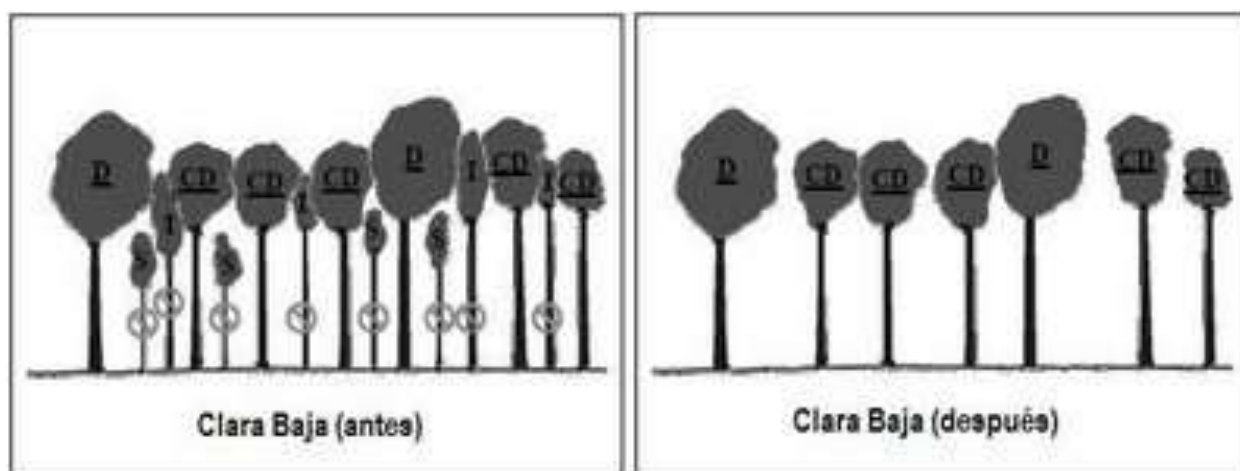


Figura 1: Clara baja antes y después (Santamaría, 2008).

1.3.2. Clara alta, de copa o francesa

En esta clara se extraen los pies de copas medias y superiores, con el fin de superar las desventajas del método anterior (Figura 2). Estas claras están dirigidas a cortar parte de los pies codominantes y dominantes, intentando favorecer los pies dominados. Los pies dominantes que se eliminan son los que peores características presentan y los que tienen baja posibilidad de sobrevivir hasta la próxima intervención.

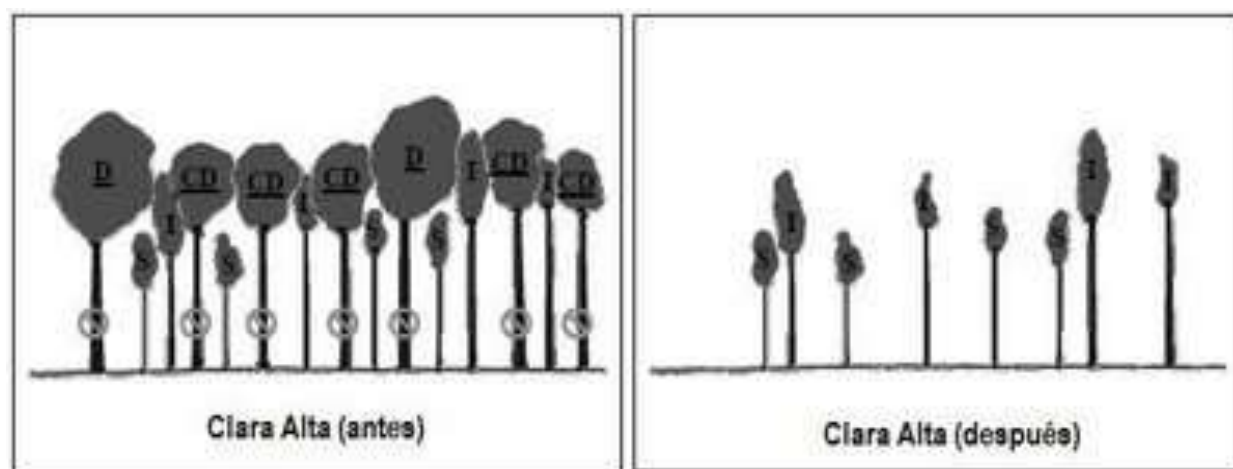


Figura 2: Clara alta antes y después (Santamaría, 2008).

1.3.3. Clara de selección o danesa

Afecta a los pies que serán directos competidores de los seleccionados como árboles de porvenir, únicamente se dejan en pie los mejores árboles del piso dominante (Figura 3). Los árboles dominados que no puedan subsistir hasta la siguiente intervención también son eliminados, con el fin de utilizarlos antes de convertirse en una pérdida total. Por tanto, no se tiene en cuenta si los pies cortados pertenecen al estrato superior, medio o inferior. El resultado es una masa resultante de madera con gran calidad.

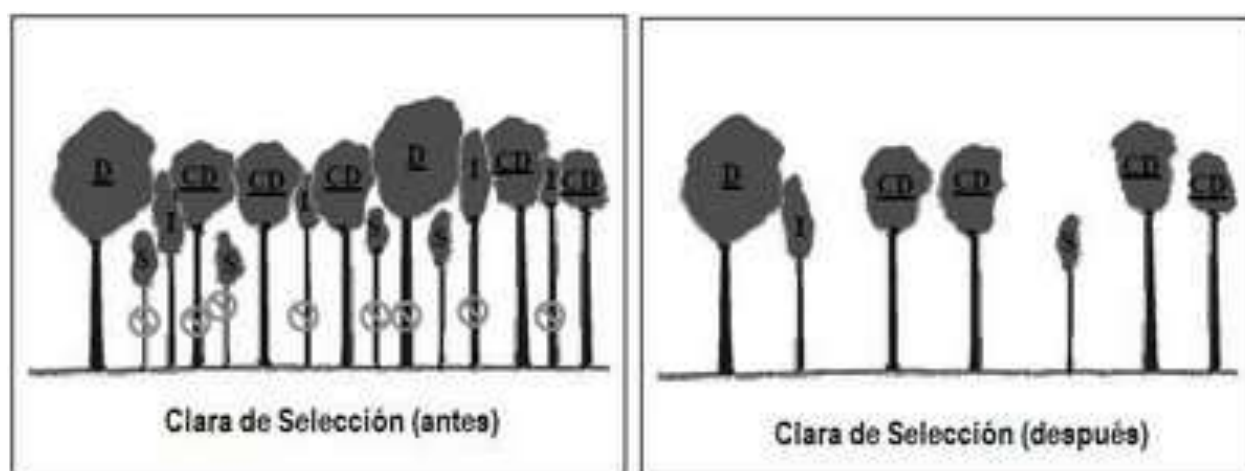


Figura 3: Clara de selección antes y después (Santamaría, 2008).

1.3.4. Clara mecánica o sistemática

En esta técnica de clara, los pies a cortar o conservar se escogen teniendo en cuenta únicamente el factor de espaciamiento, eliminando los no deseados de forma sistemática sin tener en cuenta el estrato arbóreo al que pertenecen (Figura 4). La ventaja es que es muy sencilla de realizar, ya que se eliminan filas enteras de plantación. Pero, como inconveniente tiene que se eliminan tanto pies de buena como de mala calidad.

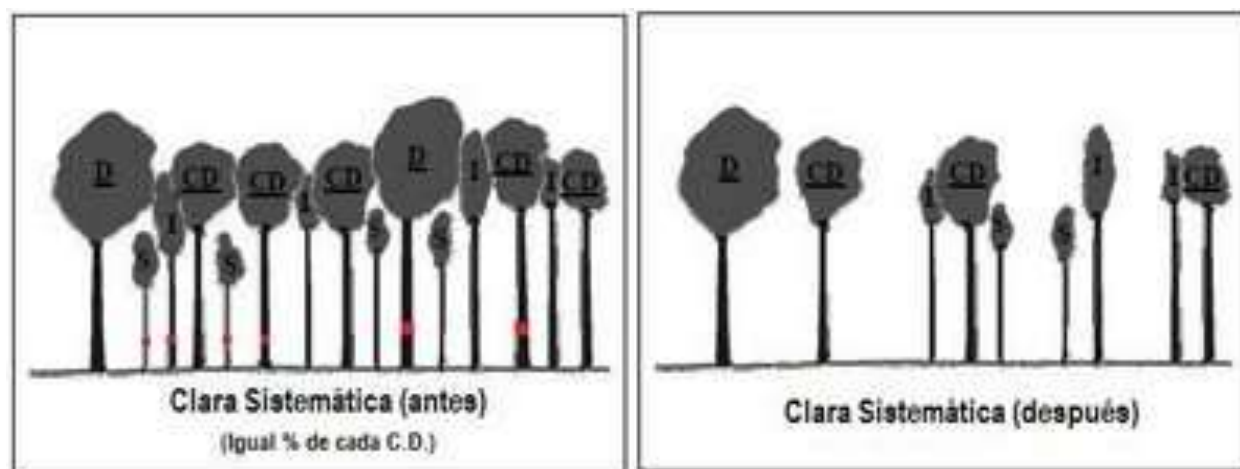


Figura 4: Clara sistemática antes y después (Santamaría, 2008).

1.4. Ciclo de nutrientes del bosque

El ciclo de nutrientes en un ecosistema forestal consta de la entrada de nutrientes al ecosistema (meteorización de la roca madre, fijación biológica de nitrógeno, aportes atmosféricos y transferencias por biota), del flujo de nutrientes entre las plantas y el suelo (absorción radicular y foliar, retranslocación, pluviolavado, pérdidas por herbivoría, desfronde y descomposición) y de las salidas de nutrientes del ecosistema (lixiviación, escorrentía, emisión de gases y aerosoles, transferencias por biota y explotación de recursos). Cada proceso es un precursor del anterior y el flujo de nutrientes sigue una serie de pasos interconectados (Imbert et al., 2004).

La explotación forestal altera estos ciclos, aumentando considerablemente la pérdida de nutrientes del ecosistema y, por tanto, su fertilidad. Si la tala y extracción de árboles ocurren más rápidamente que la recuperación de los nutrientes perdidos, el ecosistema sufrirá una pérdida neta de nutrientes, a no ser que se utilicen fertilizantes (Castillo et al., 2003).

1.4.1. Ciclo externo de nutrientes

Todos los ecosistemas reciben nutrientes del exterior y, a la vez, una parte de los utilizados se pierden hacia el exterior, por lo que no son estancos (Figura 5).

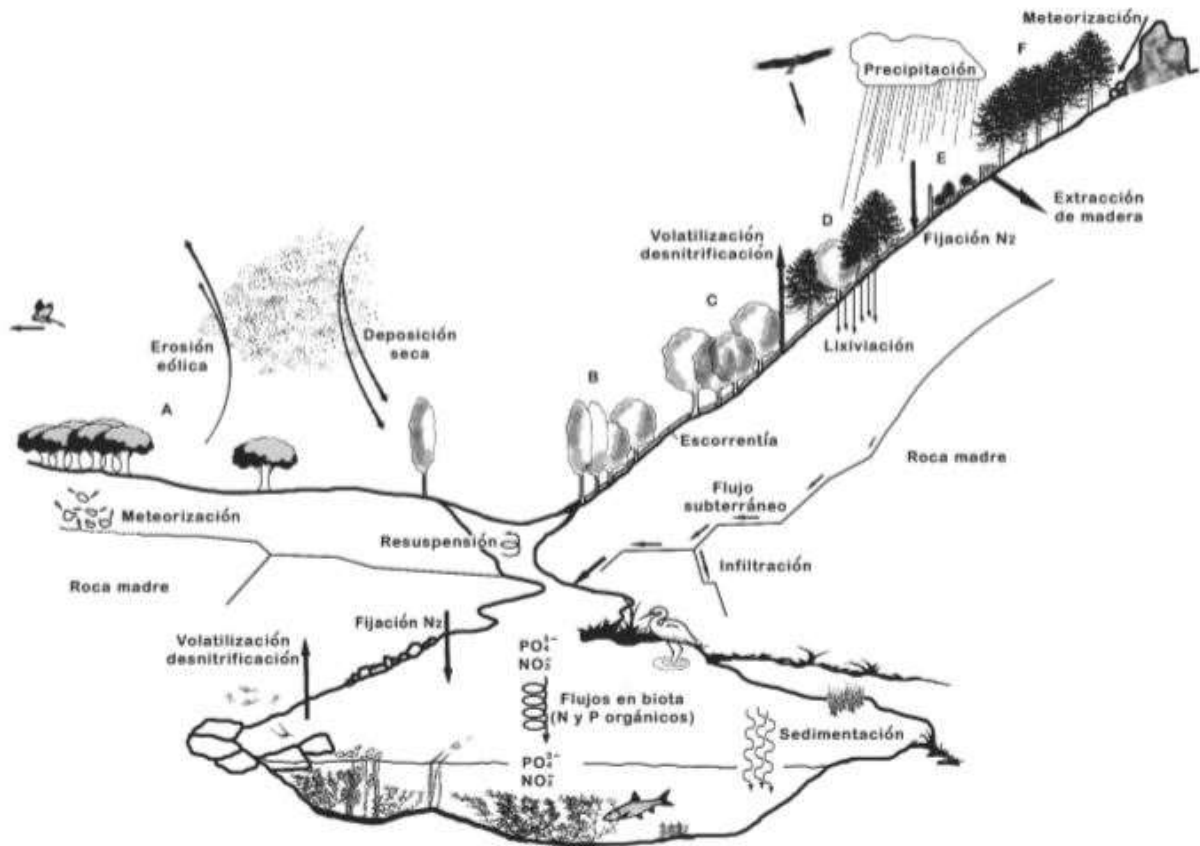


Figura 5: Ciclo externo de nutrientes en un ecosistema forestal (Imbert et al., 2004).

1.4.1.1. Entradas externas de nutrientes

- *Lixiviados de la roca madre:* la rotura inicial de la roca madre y su posterior desintegración, ya sea mecánica (fragmentación por diferencia de temperaturas), química (por reacción de minerales con agua) o biótica (reacción de minerales con ácidos orgánicos producidos por plantas) hacen que sus componentes se vayan liberando poco a poco y así ser transportados hacia los ecosistemas forestales. Este tipo de entrada puede llegar a ser la principal fuente de entradas de muchos ecosistemas forestales (Imbert et al., 2004).
- *Entradas desde la atmósfera:* estos aportes provienen de la deposición húmeda (lluvia, nieve y nieblas) y la deposición seca (partículas y aerosoles). La cantidad de aportes atmosféricos que llegan a los bosques depende principalmente del clima, microclima, y distancia con respecto al mar, áreas de erosión eólica y zonas industriales. La estructura del bosque, que puede ser manipulada por el forestal, influencia la entrada de nutrientes al suelo. Así, el agua de lluvia, al entrar al bosque, puede fluir a través del dosel (translocación) o de los troncos (escorrentía cortical) cambiando su composición química, ya que, ha arrastrado deposición seca y lixiviados de las plantas, y perdido algunos nutrientes que han sido absorbidos por las hojas (Imbert et al., 2004).

1.4.1.2. Salidas externas de nutrientes

- *Pérdidas por escorrentía:* se producen cuando el suelo no es capaz de absorber el agua que cae o corre sobre él. Parte de los nutrientes que el bosque posee son arrastrados mediante lixiviados del suelo o del material vegetal, provocando además sobre el terreno una acción erosiva que destruye la estructura del suelo. Estas pérdidas están altamente influenciadas por el régimen de explotación del bosque (Blanco, 2004).
- *Pérdidas verticales por filtración:* aparecen cuando la naturaleza física del sustrato lo permite. Por este proceso, el agua percola verticalmente por la fuerza de la gravedad a través de los poros del suelo, arrastrando nutrientes en forma de lixiviados y alcanzando acuíferos subterráneos (Blanco, 2004).

1.4.2. Ciclo interno de nutrientes

Dentro del ecosistema forestal, los nutrientes se distribuyen entre la vegetación, la fauna y el suelo (Figura 6). El proceso más importante en el funcionamiento de los bosques corresponde a la caída de hojarasca, ya que aporta materia orgánica y nutrientes al suelo.

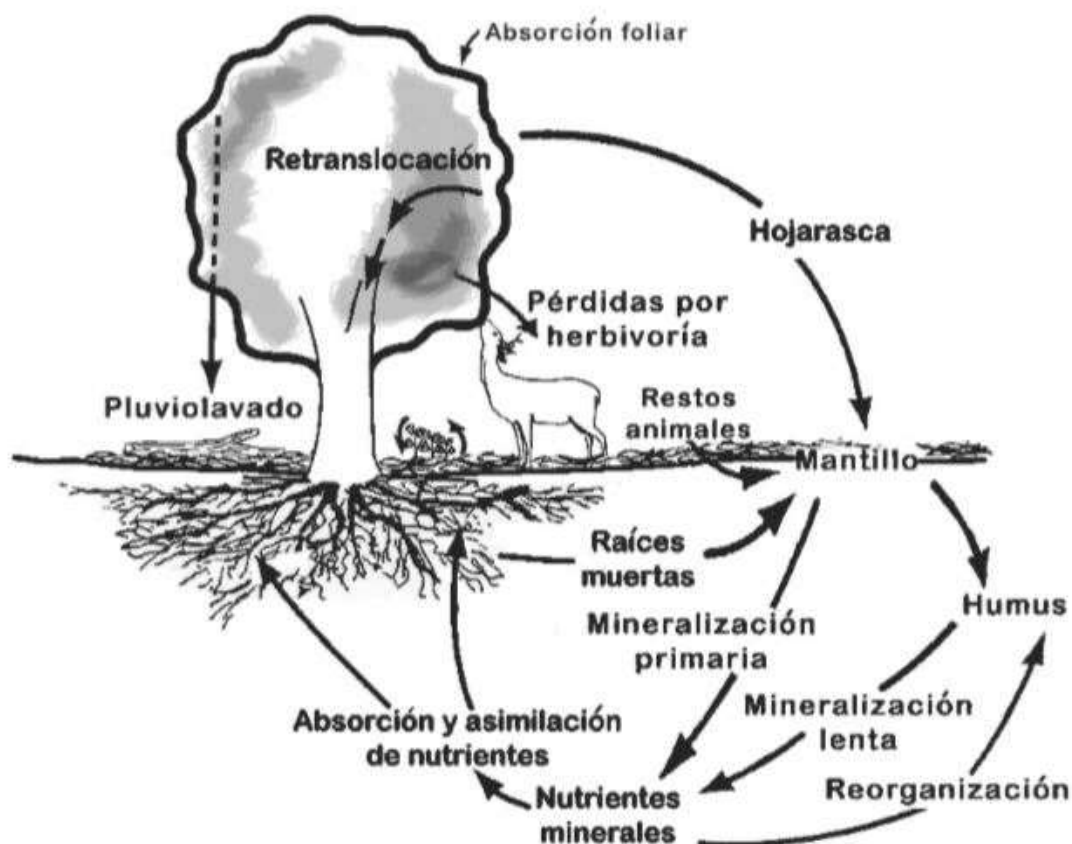


Figura 6: Ciclo interno de nutrientes de un ecosistema forestal (Imbert et al., 2004).

1.4.2.1. Retranslocación

La retranslocación se define como el proceso por el cual los árboles reabsorben parte de los nutrientes contenidos en sus hojas antes de la abscisión de éstas, considerándose como una especie de autorreciclaje de los nutrientes en el árbol (Blanco, 2004). Se considera como una adaptación de las plantas a suelos infértiles, ya que reduce las pérdidas de nutrientes (Chapin, 1980).

Esta circulación se puede producir por diferentes vías: de las hojas a las ramas, de las raíces finas a las raíces gruesas o del duramen a la albura. Se ha podido determinar que gracias a ella los árboles pueden satisfacer un porcentaje considerable de sus requerimientos anuales (Imbert et al., 2004).

1.4.2.2. Absorción radicular

La absorción de nutrientes por parte de las raíces es una parte importante de este flujo. La absorción de nutrientes por las raíces de las plantas está inicialmente restringida por las tasas de descomposición y de mineralización, la solubilidad mineral, la capacidad de intercambio catiónico y la competencia con los microorganismos. Las plantas captan los nutrientes del suelo selectivamente, absorbiendo preferentemente los nutrientes que más limitan su crecimiento. Generalmente, el nutriente que más limita el crecimiento determina las tasas de absorción del resto de los nutrientes (Imbert et al., 2004).

1.4.2.3. Descomposición

La descomposición es el proceso general de transformación de la materia orgánica muerta procedente del desfronde, raíces, animales y microorganismos, en nutrientes inorgánicos directamente disponibles para las plantas y en dióxido de carbono (CO₂). Es el proceso clave que enlaza el ciclo interno de nutrientes con la productividad del bosque. Esta materia orgánica muerta se acumula inicialmente en la capa superficial del suelo, en el mantillo y conforme avanza la descomposición, se liberan nutrientes inorgánicos, que son asimilados por las plantas y los microorganismos (Imbert et al., 2004).

El proceso de descomposición de la hojarasca tiene una eficiencia muy baja, ya que gran cantidad de nutrientes quedan retenidos en humus (materia orgánica estable), en el que gran parte de estos se liberan muy lentamente, durante décadas o siglos (Aspurz, 2015).

1.4.2.4. Desfronde o caída de hojarasca

El desfronde o caída de hojarasca es el proceso de caída de hojas, ramas, corteza, frutos, etc. procedentes del dosel arbóreo, el cual se acumula en el matillo para su posterior descomposición. Se produce cuando estos órganos dejan de ser útiles para el árbol y ya han retranslocado los nutrientes de manera natural, o debido a condiciones climáticas. Es una de las principales vías de transferencia de materia orgánica y nutrientes desde la planta hasta el suelo, que, junto con la

descomposición de raíces, representan la mayor parte de los nutrientes incorporados al suelo anualmente.

La cantidad de desfronde que se produce está ligada a factores climáticos, como son la temperatura y la humedad. Estos factores se pueden representar con la evapotranspiración (ETP). La relación entre este factor y el desfronde es directamente proporcional: conforme aumenta la ETP los árboles producen más biomasa debido a que las condiciones son más favorables, por lo que si hay más producción, la cantidad de desfronde también aumenta (Aspurz, 2015). Por tanto, estas pérdidas por desfronde son, por lo general, mayores en sitios húmedos, cálidos, fértiles y con alta productividad, y menores en sitios secos, fríos, infértiles y de baja productividad (Imbert et al., 2004).

En ecosistemas forestales, aproximadamente el 80% de los nutrientes provienen de la caída de hojarasca. La caída o abscisión de la hojarasca, es una fase que se da tanto en especies caducifolias como en las coníferas. En el caso de las especies caducifolias, la caída se produce de forma más o menos agrupada con la llegada del otoño. Sin embargo, en las coníferas la caída se da durante todo el año, pero con picos pronunciados en el otoño y la primavera (Auzmendi, 2002).

Las prácticas forestales pueden alterar de forma importante el proceso de caída de hojarasca y retorno de nutrientes al suelo, al disminuir la biomasa viva del dosel arbóreo. La corta por claras de los bosques está considerada como una de las formas más racionales de explotar un bosque. Así, la cantidad de nutrientes que llega al suelo disminuye con la intensidad de clara (Imbert et al., 2004).

1.5. Antecedentes

Este proyecto surge hace 20 años de la colaboración del equipo de Ecología y Medio Ambiente del Departamento de Ciencias del Medio Natural de la Universidad Pública de Navarra con la empresa Gestión Ambiental – Viveros y Repoblaciones de Navarra S.A. y con la sección de Montes del Gobierno de Navarra. El estudio se desarrolló bajo el nombre de “Estudio y construcción de unas Tablas de Producción de Selvicultura variable para masas naturales de *Pinus sylvestris* L. y establecimiento de sitios de ensayo en la Comunidad Foral de Navarra” (proyecto SC96-078).

El proyecto surgió con el objetivo de desarrollar un instrumento adecuado para la gestión silvícola de las masas naturales de *Pinus sylvestris* L. que permitiera planificar el manejo de este recurso forestal (Castillo et al., 2003).

En 1999 se aplicaron en las localidades de Garde y Aspurz tres intensidades de clara diferentes (0%, 20% y 30% de retirada de área basimétrica), y en el año 2009 se realizó la segunda clara en Aspurz (0%, 20% y 40% de retirada de área basimétrica).

El objetivo inicial de la investigación sobre las claras forestales era determinar el régimen de cortas que, junto con la determinación del turno de madurez, optimizara la utilidad global del sistema forestal. Sin embargo, el Grupo de Ecología junto con la ayuda de la Sección de Montes del

Gobierno de Navarra, se dieron cuenta de la posibilidad de llevar a cabo investigaciones más ambiciosas en estas áreas y comenzaron a investigar sobre los efectos de la gestión forestal en el funcionamiento (producción arbórea y ciclos de nutrientes) y estructura (diversidad y biodiversidad en el suelo y el sotobosque) de esos dos bosques navarros (Castillo et al., 2017). La investigación llevada a cabo podría agruparse en tres etapas:

En la primera etapa, desde 1999 hasta 2006, el principal objetivo de la investigación fue la identificación del ciclo de nutrientes lo cual permitió conocer los efectos que tienen las claras forestales en bosques pirenaicos sobre dicho proceso. Determinaron como las claras en estos bosques podían ralentizar el flujo de nutrientes al reducir el aporte de nutrientes por desfronde y la velocidad de descomposición del mismo. Esto ayudó a crear un modelo de simulación para la circulación de nutrientes, el cual mostró que ambos bosques funcionaban diferente lo que implica diferentes manejos (Castillo et al., 2017)

En la segunda etapa, desde 2007 hasta 2012, basándose en mapas e inventarios florísticos de la zona de Aspurz, determinaron que la cobertura de haya se estaba expandiendo rápidamente. Sabiendo que el haya y el pino tienen estructura y funciones diferentes, el objetivo principal en esta segunda etapa fue constatar que, debido a ello, cada zona en función de las especies arbóreas presentes y predominantes, funcionaría de manera diferente. Efectivamente, los resultados mostraron que, según el tipo de árbol dominante en cada área, los flujos de agua y de nutrientes y en consecuencia el crecimiento de los árboles, variaban. Ello manifestó la importancia de tener una visión ecosistémica del bosque para entender su funcionamiento en vez de una visión individual de cada árbol (Primicia, 2012).

En la tercera etapa, ya a partir de 2013, los estudios enfocados en los posibles efectos del cambio global en la estructura y función de los bosques empezaron a tomar más importancia en comparación con los estudios de los efectos de la gestión forestal. Además, en los últimos años, aparte de utilizar las últimas técnicas para estudiar cómo los bosques de Aspurz y Garde pueden ser afectados por el cambio climático, debido al aumento de la cobertura de haya respecto a la de pino se ha visto conveniente profundizar en el estudio de la competencia por recursos entre las distintas especies (Zozaya, 2019).

En el presente trabajo, se pretende estimar la cantidad y tipo de desfronde que se produce en las parcelas de las diferentes localidades según el tratamiento. De esta manera, se podrá analizar la forma en la que las claras afectan a la cantidad de desfronde producido y, además, determinar cómo afecta la presencia de otras especies arbóreas al crecimiento de los pinos.

1.6. Hipótesis

En este estudio se ha analizado la cantidad de desfronde que cae durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre en las distintas parcelas experimentales situadas en las localidades navarras de Aspurz y Garde.

Como se ha mencionado anteriormente, en estas parcelas se han realizado claras de distinta intensidad. En el caso de Garde, las claras únicamente se realizaron en el año 1999 y en Aspurz, en cambio, se realizaron en el año 1999 y en el 2009. Por tanto, cabe esperar que la cantidad de desfronde producido sea diferente según el tratamiento, en este caso la intensidad de la clara.

En primer lugar, teniendo en cuenta las zonas en las que se sitúan las parcelas, por las condiciones climáticas hacen pensar que la localidad de Aspurz sea más productiva que la localidad de Garde. Esta será la primera hipótesis, que la producción de desfronde en Aspurz será mayor que en Garde.

En segundo lugar, cabe esperar que en las parcelas en las que se han realizado claras, la cantidad total de desfronde sea menor a las parcelas que no se han intervenido. Esto se debe a que, al reducir el número de pinos, se reduce la cantidad de biomasa foliar que puedan generar y, por tanto, el desfronde que llegue al suelo.

En tercer y último lugar, además de estimar la masa de desfronde total recogido, también se analizó según su procedencia (hojas de pino, hojas de haya, ramas de pino, miscelánea, piñas, hayucos y hojas de otros árboles). Con este análisis lo que se pretende es ver como las claras favorecen la aparición de otras especies diferentes a los pinos, ya que, en esos “huecos” que se crean otros árboles pueden crecer obteniendo suficiente luz y espacio para desarrollar la copa. Como estos árboles todavía no han sido objeto de las claras, la tercera hipótesis es que la proporción de desfronde que ocupan sea mayor durante 2019 que en años anteriores.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es analizar la influencia que tienen los aclareos y el tipo de bosque sobre la cantidad de desfronde producida durante los meses de otoño. En este caso se han estudiado un bosque mixto y otro puro durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2019.

Para analizar esta influencia, se cuenta con una serie de objetivos más concretos que se describen a continuación:

- Medir la producción de desfronde de los bosques de Garde y Aspurz para estimar las diferencias que se producen.
- Medir la producción del bosque mixto (pino y haya) y del puro (solo pino) para estimar cuál de los dos es más productivo.
- Medir la cantidad de desfronde producido por meses y ver las diferencias de producción a lo largo del otoño de 2019.
- Medir la cantidad de desfronde producido según el tipo de claras y ver cómo afectan a la producción total y por fracciones.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de la zona de estudio

Este estudio se ha realizado en las localidades de Garde y Aspurz, al noreste de la Comunidad Foral de Navarra. La elección de estas parcelas se hizo por medio del proyecto I.N.I.A.- Gobierno de Navarra “Estudio y construcción de unas Tablas de Producción de Selvicultura variable para masas naturales de *Pinus sylvestris* L. y establecimiento de sitios de ensayo en la Comunidad Foral de Navarra” (proyecto SC96-078).

3.1.1. Localización de las parcelas

Las parcelas fueron seleccionadas por sus características representativas del 75% de los bosques de pino silvestre de Navarra. Además, son masas naturales de pino silvestre que desde el momento en el que se empezó el estudio hace ya 20 años, llevaban mucho tiempo sin ser explotadas para la extracción de árboles para madera.

- Garde.

La localidad de Garde se encuentra en el Valle del Roncal, perteneciente a la Merindad de Sangüesa y administrativamente al Partido Judicial de Aoiz. Se sitúa en la parte sureste del mismo, a una altura de 737 msnm (Figura 7).



Figura 7: Localización de las parcelas de Garde (SITNA - Sistema de Información Territorial de Navarra, 2020.; Wikipedia, 2020.-a).

La parcela más concretamente se sitúa en el polígono 7 parcela 208 del paraje de “Krutxillaga” en la sierra de Arrigorrieta. La orientación es hacia la cara norte, por lo que se puede observar a la perfección el monte Ezkaurre (Figura 8). Las coordenadas son 40° 48’ 50’’N - 0° 52’30’’W y tienen una pendiente media del 40% a una cota media de 1.335 msnm.



Figura 8: Vista de las parcelas de Garde.

Las parcelas tienen un diseño aleatorio de tres tipos de tratamiento y tres repeticiones por cada tratamiento dando un total de 9 parcelas rectangulares con dimensiones de 30 x 40 m. En la imagen (Figura 9) se puede apreciar la distribución al azar de los bloques de trabajo, que tiene como finalidad que el estudio refleje la variabilidad ecológica del sitio. Tres son parcelas testigo, en las cuales no se ha realizado ninguna clara, en otras tres se hizo una clara del 20% de su área basal y en otras del 30%.

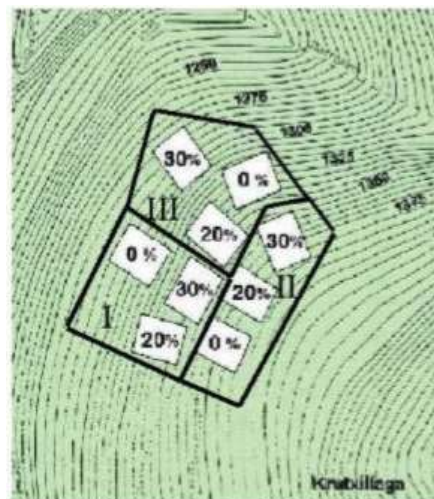


Figura 9: Disposición de las parcelas de Garde. Los porcentajes indican el área basal retirada y los números romanos señalan los bloques de parcelas (J A Blanco, 2004).

- Aspurz.

La localidad de Aspurz se sitúa en la zona del Almiradío de Navascués, pertenece administrativamente al Municipio de Navascués y al Partido Judicial de Aoiz (Figura 10).

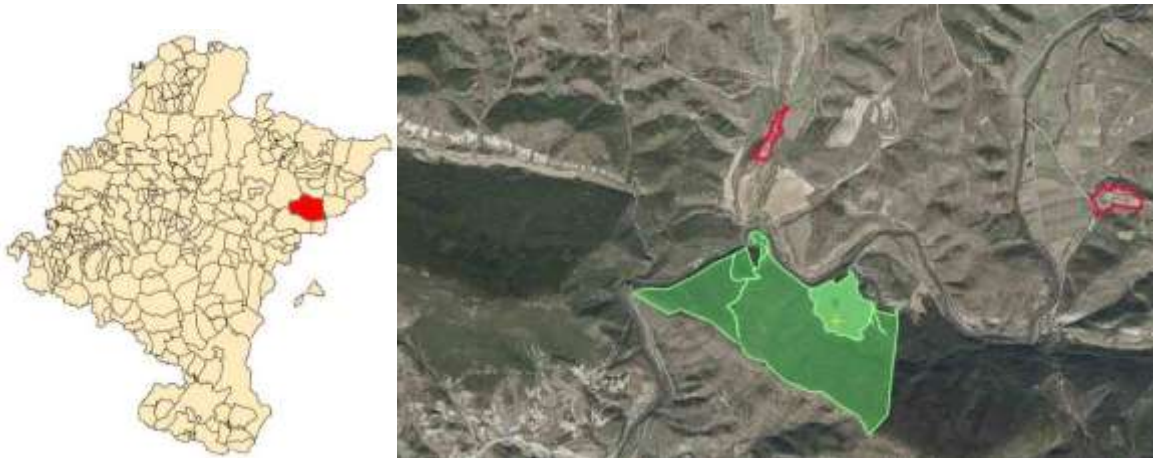


Figura 10: Localización de las parcelas de Aspurz (*SITNA - Sistema de Información Territorial de Navarra*, 2020.; Wikipedia, 2020-b).

La parcela se sitúa en el paraje de “La Sierra” próxima a la localidad (Figura 11). Más concretamente en la parcela 385 subparcela B del polígono 17 de Navascués. Su orientación al igual que en Garde es al norte, la altura media está a 650 msnm y tiene una pendiente media del 10%. Las coordenadas son 42° 42’ 31’’ N – 1° 8’ 40’’ W.



Figura 11: Vista de las parcelas de Aspurz (J A Blanco, 2004).

Al igual que en Garde, estas parcelas tienen unas dimensiones de 30 x 40 m y el diseño también es aleatorio con unas parcelas testigo, otras parcelas con claras del 20% y otras con claras del 30%.

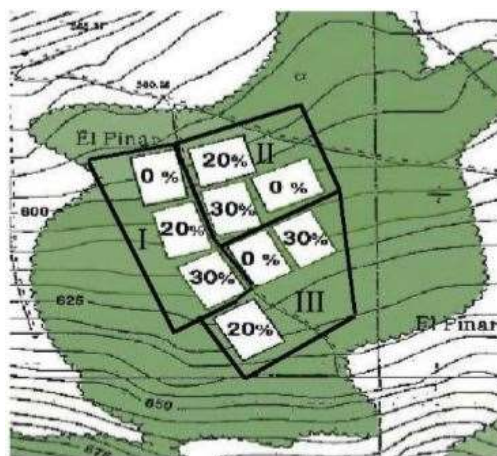


Figura 12: Disposición de las parcelas de Garde. Los porcentajes indican el área basal retirada y los números romanos señalan los bloques de parcelas (J A Blanco, 2004).

3.1.2. Climatología y meteorología

Con el objeto de conocer más las características climáticas de la zona, se ha optado por consultar datos en las estaciones meteorológicas próximas a las parcelas durante el periodo de investigación. El problema surge en que no todas las localidades cuentan con estación meteorológica.

- Garde.

En el caso de Garde, al no contar con estación meteorológica propia se ha optado por utilizar los datos de la estación más cercana, que es la de Urzainqui (Figura 13). Por ello, hay que tener en cuenta la diferencia que puede haber tanto en pluviometría como en temperaturas debido a la diferencia de cota entre las parcelas y la estación. La estación se encuentra a una altura de 722 msnm mientras que las parcelas experimentales están 613 m por encima a 1.335 msnm.

Por esto, para la corrección de los datos, a las temperaturas se les aplica un factor de corrección de un descenso de temperatura $0,5^{\circ}\text{C}$ por cada 100 metros ascendidos (Blanco, 2004). Así, teniendo en cuenta la diferencia de 613 m de altura, la temperatura media anual en Garde será $3,065^{\circ}\text{C}$ inferior a los datos recogidos en la estación de Urzainqui.

Para las precipitaciones, en cambio, no hay un factor de corrección exacto para aplicar. Aun así, se conoce que las precipitaciones medias anuales oscilan entre 1.200 – 1.400 mm (Blanco, 2004).

A la hora de hacer la clasificación climática hay dos maneras. Por un lado, según la clasificación Köppen es un clima marítimo de costa occidental u oceánico (Cfb), con lluvias repartidas a lo largo del año, por lo que no existe una estación seca. Y, por el otro, según la clasificación de Papadakis, es un clima mediterráneo marítimo fresco (Mef), un clima templado húmedo con uno o dos meses secos en verano (Meteo Navarra, 2020a).

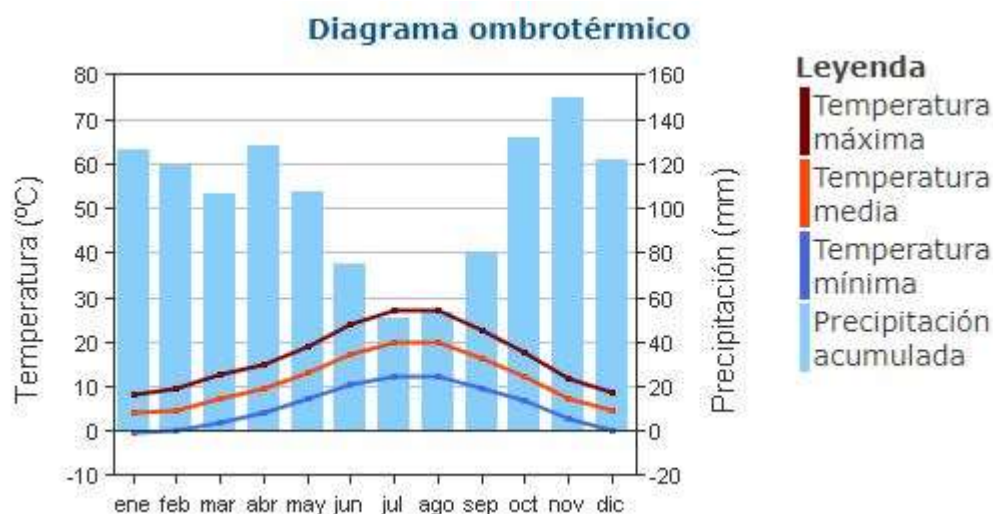


Figura 13: Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica de Urzainqui (Meteo Navarra, 2020a).

Los datos de la figura anterior corresponden a los resultados medios obtenidos desde el año 1982, que es cuando se instaló la estación meteorológica hasta el año 2018. Lo cual no significa que las temperaturas y precipitaciones sean iguales a lo largo de los años, ya que pueden sufrir importantes variaciones. Por ello, se ha optado por elaborar un diagrama propio a partir de los datos registrados en la estación durante el año 2019 (Figura 14).

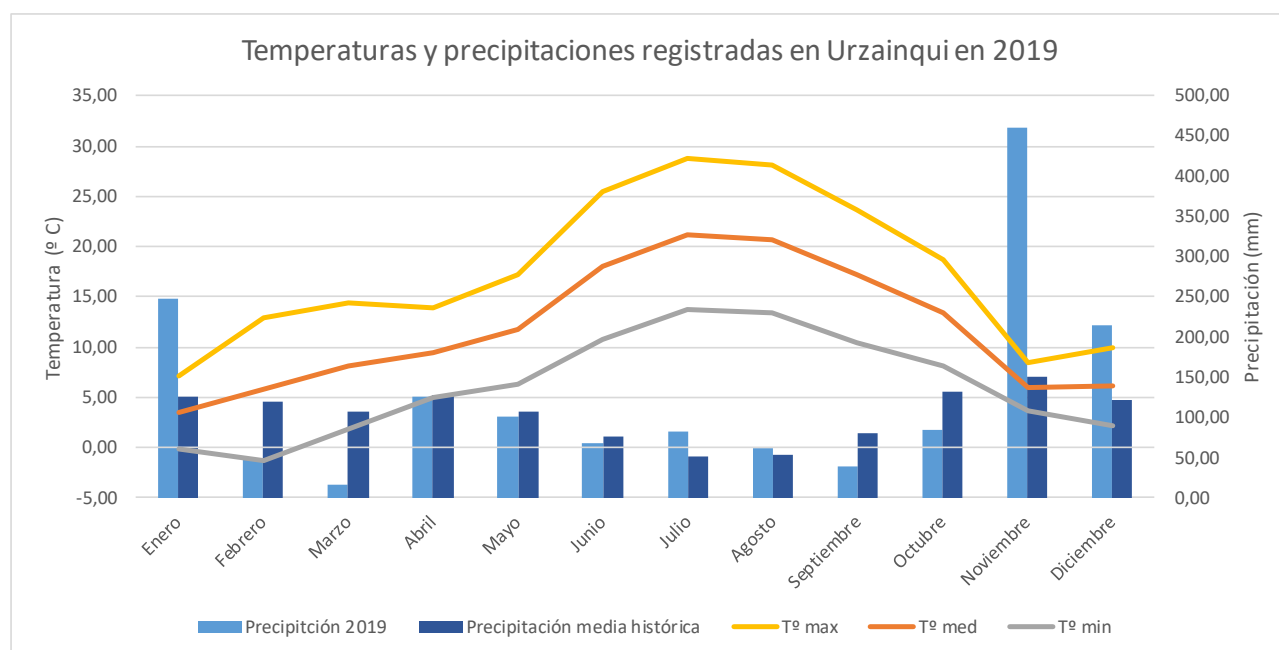


Figura 14: Temperaturas y precipitaciones registradas en Urzainqui durante el año 2019 (Elaboración propia a partir de los datos de Meteo Navarra 2019).

- Aspurz.

En este caso, Aspurz tampoco cuenta con estación meteorológica propia. La estación más próxima se encuentra en la localidad de Navascués, con la que es limítrofe, por lo que se entiende que las condiciones climáticas en ambas localidades serán similares (Figura 15).

Así, las precipitaciones se consideran iguales debido a la proximidad de la parcela respecto a la estación meteorológica. Para las temperaturas, sin embargo, teniendo en cuenta que la altura de la estación es de 615 msnm y la de la parcela de estudio de 650 msnm, la variación que se produce según el factor de corrección será de $0,175^{\circ}\text{C}$.

La clasificación climática según Köppen corresponde con un clima marítimo de costa occidental (Cf2b), en el que las lluvias están bien repartidas a lo largo del año y aunque no existe una estación seca, sí se dan dos meses secos en verano. Según Papadakis, se trata de un clima mediterráneo marítimo fresco (Mef), donde hay uno o dos meses secos en verano (Meteo Navarra, 2020b).

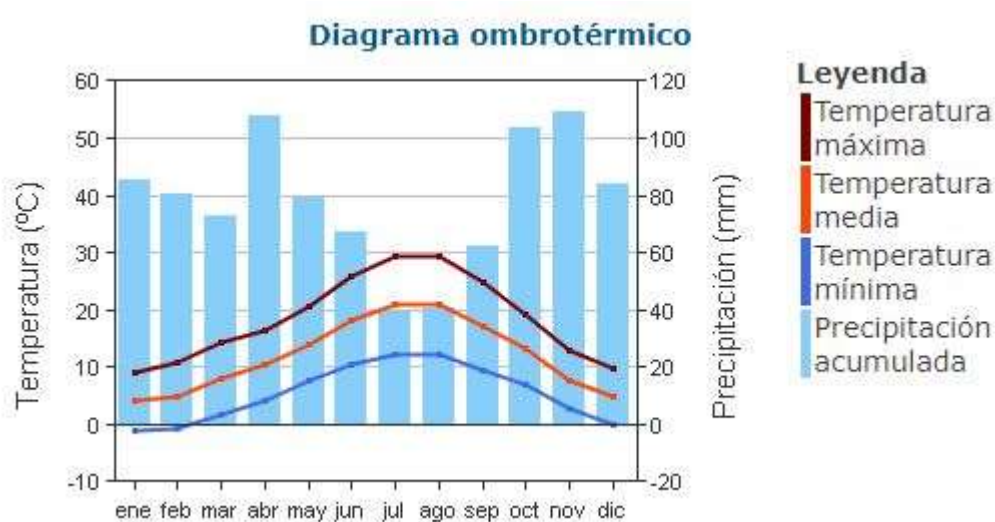


Figura 15: Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica de Navascués (Meteo Navarra, 2020b).

Los datos de la figura anterior son las medias obtenidas desde 1984 hasta el año 2018. Lo cual no significa que las temperaturas y precipitaciones sean iguales a lo largo de los años, ya que pueden sufrir importantes variaciones. Por ello, se ha optado nuevamente por elaborar un diagrama propio a partir de los datos registrados en la estación durante el año 2019 (Figura 16).

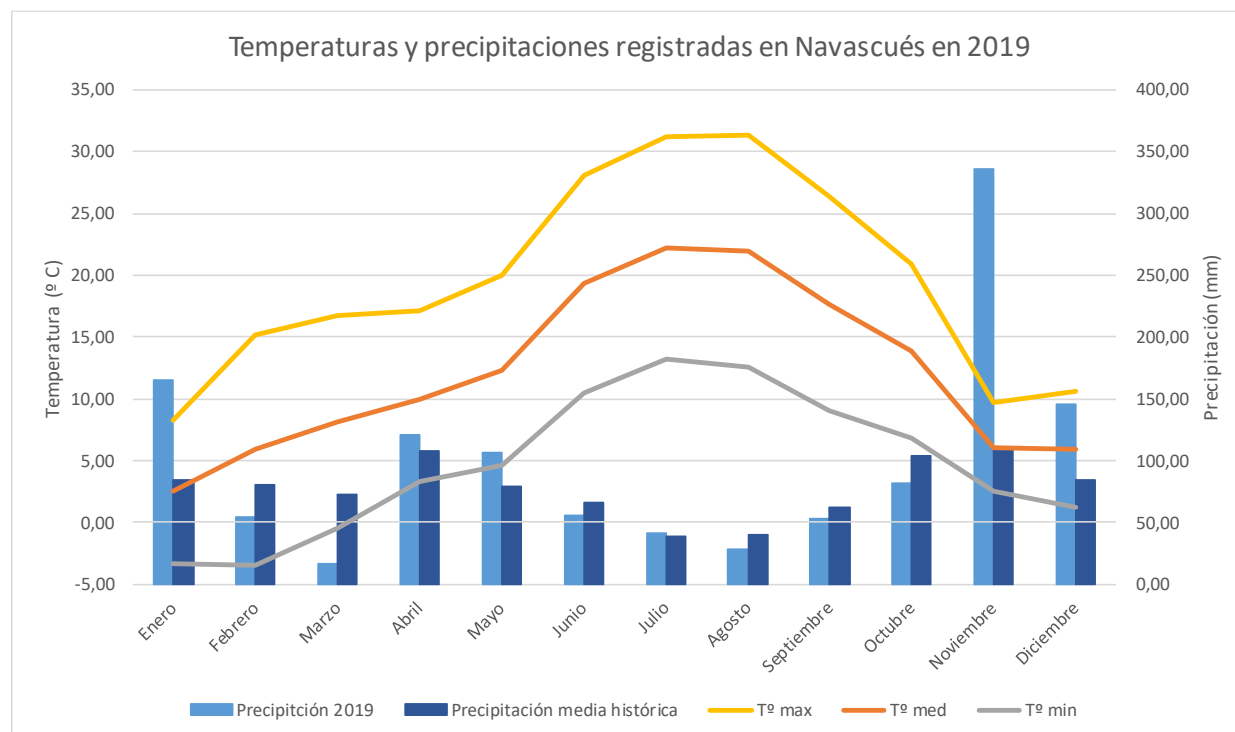


Figura 16: Temperaturas y precipitaciones registradas en Urzainqui durante el año 2019 (Elaboración propia a partir de los datos de Meteo Navarra 2019).

3.1.3. Vegetación

En el Mapa de Vegetación Potencial de Navarra 1:25.000 (Figura 17) vemos las especies y comunidades vegetales propias que albergan los diferentes territorios, los cuales están relacionados con factores ecológicos e históricos del medio. El territorio de Navarra se divide en dos regiones biogeográficas, la Eurosiberiana y la Mediterránea, cada una de ellas caracterizadas cada una por la flora, la vegetación y el clima. Tanto Garde como Aspuz se encuentran en la primera región, concretamente en el sector Pirenaico central. Este sector se caracteriza por la presencia de bosques dominados por hayas (*Fagus sylvatica*), pinos silvestres (*Pinus sylvestris*) y abetos (*Abies alba*).



Figura 17: Mapa de Vegetación Potencial de Navarra (Peralta de Andrés, 2020.)

Las parcelas experimentales de Garde se sitúan en un bosque perennifolio dominado por el pino silvestre (*Pinus sylvestris*) (Figura 18). Es una especie bien adaptada al clima frío y húmedo del norte, siempre que haya suficiente precipitación, por lo que es normal que sea tan abundante en los valles pirenaicos de Roncal y Salazar. En un principio, las parcelas de estudio eran prácticamente un pinar puro de pino silvestre, pero con el tiempo el haya (*Fagus sylvatica*) ha resultado cada vez más abundante, aunque en menos cantidad que en Aspurz y en estados más jóvenes de desarrollo. En cuanto al sotobosque, está menos desarrollado que en Aspurz, pero se pueden encontrar diferentes tipos de árboles y arbustos como pueden ser boj (*Buxus sempervirens*), helecho (*Pteridium aquilinum*), acebo (*Ilex aquifolium*), roble (*Quercus pubescens*) y alguna zarza (*Rubus ulmifolius*) (Peralta, 2010).

En Aspurz, las parcelas se encuentran en hayedos xerófilos y basófilos pirenaicos (Figura 19). Son hayedos en cuyo estrato arbóreo suele haber robles (*Quercus pubescens*), pino silvestre, (*Pinus sylvestris*), arces (*Acer opalus*) y más raramente abeto (*Abies alba*). En cuanto al estrato arbustivo, el boj es constante, tanto que alcanza una elevada cobertura y lo que a la flora respecta, dichos hayedos presentan muchas plantas comunes a los robledales de roble peloso, con los que contactan. Estos hayedos sustituyen a los basófilos y ombrófilos pirenaicos hacia el sur, con menores precipitaciones (Peralta, 2010).



Figura 18: Vegetación en las parcelas de Garde.



Figura 19: Vegetación en las parcelas de Aspurz.

3.2. Descripción del estudio

Para el estudio de la masa y composición del desfronde producido en las localidades de estudio durante el año 2019, fue necesario acudir a las parcelas durante los meses de septiembre a diciembre. Durante esos meses se procedió a recoger material vegetal caído en el desfronde. Una vez recogido ese material se clasificó en diferentes fracciones para pesarlo.

3.2.1. Diseño del estudio

Los tratamientos realizados en Garde tuvieron lugar en agosto de 1999, cuando los pinos tenían unos 40 años aproximadamente, mientras que en las parcelas de Aspurz, las claras se realizaron el mismo año en noviembre, cuando los árboles tenían 37 años aproximadamente (Sarries, 2018). En Aspurz se realizó una segunda clara en el año 2009.

Los tratamientos llevados a cabo fueron los siguientes:

- Tratamiento A: parcela testigo, sin tratamiento de aclareo.
- Tratamiento B: retirada del 20% del área basal inicial (clara baja moderada).
- Tratamiento C: retirada del 30% del área basal inicial (clara baja fuerte).

3.2.2. Recogida de muestras

Tanto en las parcelas de Aspurz como de Garde, la recogida del desfronde producido por los árboles se realizó por medio de contenedores tipo “litter traps” o cono invertido (Figura 20). Constan de una estructura metálica circular anclada al suelo con tres patas, que cubre un área de 0,28 m² y a la cual va unida una malla cónica de plástico de 0,5 mm de luz. En cada parcela experimental hay colocados 9 de estos contenedores al azar, a una altura aproximada de 70 cm del suelo.



Figura 20: Contenedor de tipo "litter-trap".

Cada uno de los contenedores tiene una tarjeta de identificación, en la que va escrita la localidad a la que corresponde (G para Garde y A para Aspurz), el número de la parcela y el número de cesta (Figura 21).



Figura 21: Tarjeta de identificación de los contenedores.

El trabajo de recolección consiste en introducir manualmente el contenido de estas cestas en una bolsa de papel. A cada una de las bolsas se le añade una identificación escribiendo los datos de la cesta (localidad, número de parcela, número de cesta y fecha de recogida).

Como se ha dicho anteriormente, el contenido de los contenedores solamente se muestrea durante los meses de septiembre a diciembre. En el caso de Aspuz se acudió a las parcelas los 4 meses, sin embargo, en Garde solamente se fue en septiembre, octubre y noviembre, ya que para entonces se había producido casi la totalidad del desfronde.

3.2.3. Trabajo en laboratorio

Una vez recogidas las muestras, se llevan a laboratorio y se dejan secar a temperatura ambiente durante aproximadamente 24-48 horas para que pierdan la humedad y evitar que se propaguen los hongos que puedan llevar. Este proceso de secado es importante sobre todo si las muestras se han retirado en días de lluvia o si ha estado lloviendo los días anteriores a la recogida.



Figura 22: Muestra de hojarasca antes y después de separarla por fracciones.

Cuando se considera que están secas, el contenido de cada bolsa se separa con ayuda de unas pinzas en pequeñas bandejas y se van pesando por individual: hojas de pino, hojas de haya, ramas de pino, miscelánea, piñas, hayucos y otras hojas (Figura 22). A continuación, se juntan en 4 bolsas el contenido de cada fracción (hojas de pino, hojas de haya, ramas de pino y todo lo demás) para posteriores análisis.

3.2.4. Análisis de datos

Los resultados obtenidos durante el pesado de las muestras se pasan a ordenador, utilizando el programa informático Microsoft Excel 2013. Éstos se ordenan según el lugar de estudio al que pertenecen, la parcela y el tratamiento que llevan. Los datos recogidos están en g/cesta, por lo que los pasamos a kg/ha para hacer todos los cálculos y obtener la producción media de cada parcela. Una vez ordenados y calculadas las producciones medias de las parcelas, se sacan las medias, desviación típica y error estándar de cada variable de estudio, para así hacer el análisis mediante gráficas. Las gráficas se comentarán en el apartado de resultados de este estudio.

Tras realizar las gráficas con los resultados, para comprobar si las diferencias que se observan en estas son significativas fue necesario el análisis estadístico utilizando el programa JMP 12.2.0 (SAS Institute Inc, Carolina, EE. UU.).

Para comprobar si realmente existe una influencia real de un factor (en este caso sitio-dosel, con niveles: Garde-Pino, Aspurz-Pino y Aspurz-Mixto; y tratamiento de claras, con niveles 0%, 20% y 30-40%) sobre una determinada variable (en este caso las muestras de hojarasca) se utiliza el análisis de varianza o ANOVA. Previo a este análisis, hay que comprobar si los datos a procesar cumplen una serie de requisitos para poder decir que el análisis de varianza es correcto. Los dos requisitos que deben cumplir son los siguientes:

- El conjunto de datos analizados debe aproximarse a una distribución normal.
- El conjunto de datos analizados debe tener varianzas homogéneas, lo que se denomina homocedastidad.

Para comprobar la normalidad de los datos se utiliza la prueba de Shapiro-Wilk que compara la distribución de datos con una normal teórica e indica si se puede o no aceptar la distribución como normal. En el caso de que la distribución de ninguna de las variables se aproxime a una distribución normal, se utiliza la transformación logarítmica para trabajar con la distribución de esos datos y no de los originales y así se pueda usar el ANOVA. Puede darse el caso de que algunos datos sigan sin tener una distribución normal, sin embargo, si se compara con los datos sin transformar, se acerca mucho más a una distribución normal en el caso de los logaritmos.

Como hemos dicho antes, los factores a estudiar son dos: sitio-dosel y tratamiento de claras. Para poder usar el ANOVA, los datos de cada variable deben tener una varianza similar en cada uno de los niveles de los dos factores a estudiar. Por ello, la prueba se hace dos veces para cada variable, separándola en cada uno de los niveles de esos factores. Para comprobar la igualdad de varianzas hay distintas pruebas (O'Brien, Brown-Forsythe, Levene, Bartlett). Se considera que, si los datos pasan al menos una de las pruebas es suficiente.

En este caso, se aplica un ANOVA de dos factores (sitio-dosel y tratamiento de claras). Al tener dos factores diferentes, en el análisis tenemos que incluir un factor más, que es la interacción entre los dos factores. Es decir, para afirmar que el efecto de uno de los factores es real, tenemos que comprobar que no depende del nivel del otro factor. Si el resultado del ANOVA indica que hay diferencias entre grupos de factores que no se deben al azar o al error de muestro ($P < 0,05$),

sabremos que hay influencia de un factor sobre la variable medida, pero no sabemos a qué nivel. Para saber cuál es el nivel que afecta a la variable se utiliza la prueba Tukey HSD, la cual mediante letras indica qué grupos son diferentes (hay influencia del factor) y qué grupos son estadísticamente iguales (no hay influencia del factor).

4. RESULTADOS

4.1. Efecto de la época del año por tipo de hojarasca

4.1.1. Hojas de pino

En los análisis estadísticos no se han detectado diferencias significativas entre los distintos tratamientos de clara en ninguna de las fechas (septiembre, $P=0,0994$; octubre, $P=0,8303$; noviembre, $P=0,8239$; diciembre, $P=0,5167$). Sin embargo, en el mes de octubre ($P<0,0001$) y noviembre ($P<0,0001$) en Garde sí que hubo una producción significativamente mayor que en los dos tipos de dosel de Aspuz.

Esto se puede ver representado en las gráficas, ya que durante el mes de septiembre en Garde es cuando más producción de hojas de pino hubo, llegando a recoger a principios de octubre una media de 830 kg/ha. Durante el mes de octubre esta producción disminuyó hasta casi la mitad (380 kg/ha), pero se mantuvo por encima de la producción de agosto (315 kg/ha). En el caso de Aspuz, la tendencia y cantidad de hojas caídas fue muy similar para los dos tipos de dosel. En septiembre se registró la caída más fuerte de hoja producida durante el mes de agosto, de una media de unos 300 kg/ha en ambos casos. El resto de los meses la caída fue disminuyendo hasta recoger en el mes de diciembre aproximadamente 50 kg/ha (Figura 23).

Por lo tanto, se puede ver como en los dos tipos de dosel de Aspuz la caída más fuerte se produjo un mes antes (en agosto) que en Garde (en septiembre) y las diferencias en la cantidad recogida fueron grandes.

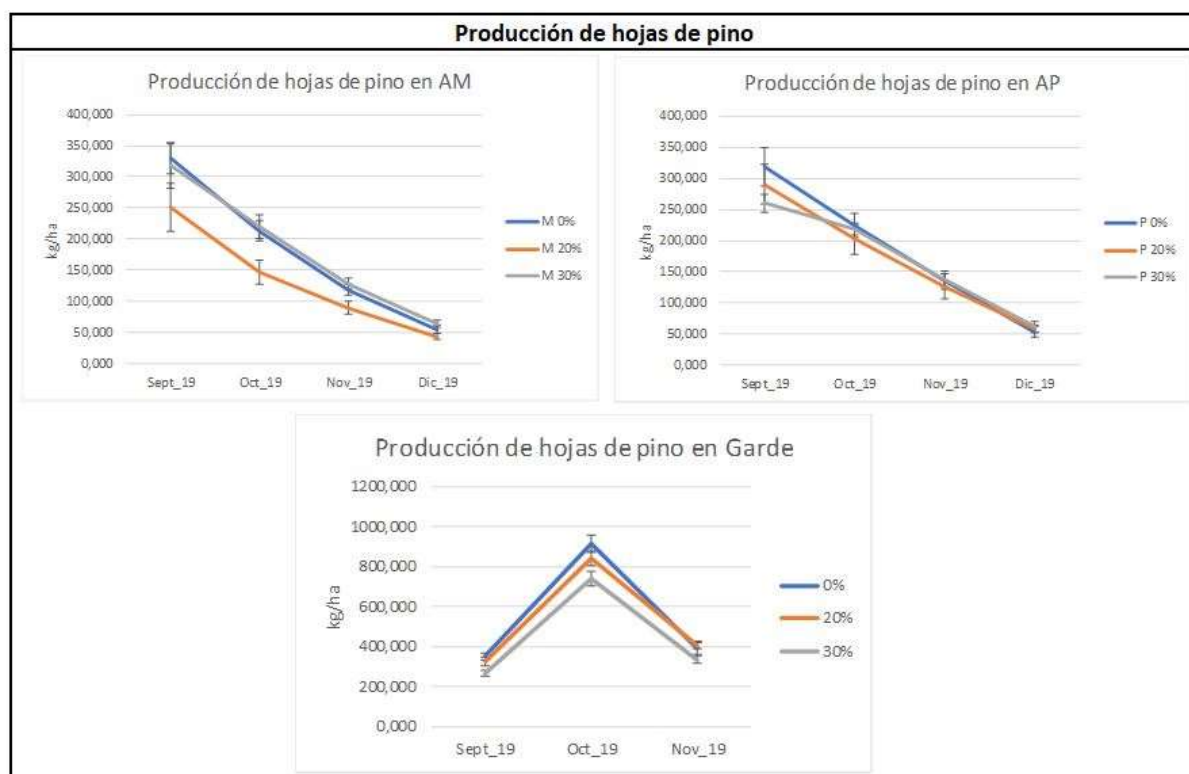


Figura 23: Producción de hojas de pino por meses.

4.1.2. Hojas de haya

En los análisis estadísticos no se han detectado diferencias significativas entre los distintos tratamientos de claras para ninguna de las fechas (septiembre, $P=0,5071$; octubre, $P=0,7835$; noviembre, $P=0,3758$; diciembre, $P=0,2034$). Sin embargo, sí que se han detectado diferencias significativas entre sitios ya que, en agosto hubo una producción de hojas de haya significativamente menor en Garde ($P<0,0083$) que en los dos doseles de Aspurz. En septiembre y octubre, hubo una producción mayor en el dosel mixto de Aspurz ($P<0,0001$) que en los dos doseles dominados por pino de Garde y Aspurz. Y, en el mes de noviembre el dosel mixto de Aspurz ($P=0,0001$) tubo significativamente más desfronde de hojas de haya que el dosel puro. En este último mes no se comparó con Garde debido a que no se recogieron muestras en diciembre en esa localidad.

En las gráficas (Figura 24) se puede ver como en Aspurz hasta el mes de noviembre no se recogieron apenas hojas de haya, pero en este mes se produjo la totalidad de la caída de la hoja dándose un aumento drástico. A pesar de tener una tendencia similar para la caída en los dos tipos de dosel, las producciones fueron bastante diferentes, ya que en el caso del bosque mixto en diciembre se recogieron una media de 1.280 kg/ha y en el caso del bosque puro unos 510 kg/ha. En el caso de Garde, sin embargo, la caída principal se produjo durante el mes de octubre, siendo esta muy significativa ya que el máximo recogido fue de 24 kg/ha.

Por lo tanto, se puede ver como la caída más fuerte en Garde se produjo un mes antes (en octubre) que en Aspurz (en noviembre). Pero, como ya se ha comentado, en Aspurz a pesar de tener ambos doseles una tendencia de caída similar las cantidades fueron bastante diferentes.

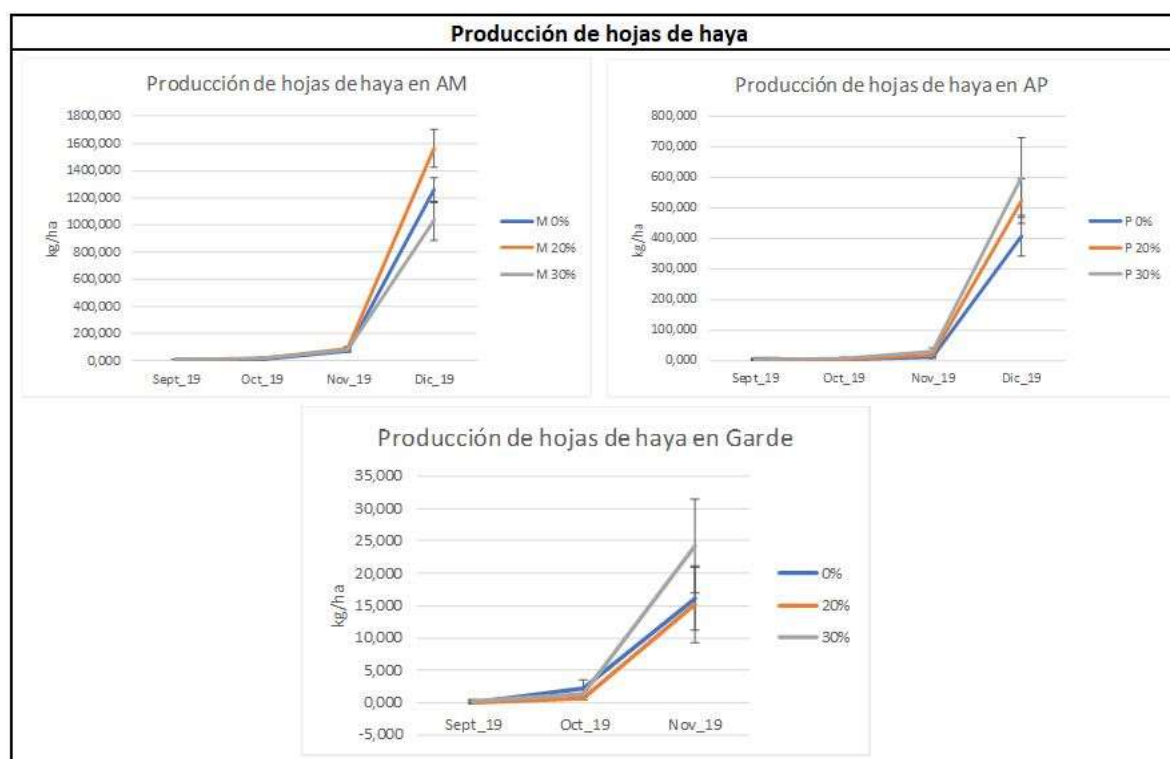


Figura 24: Producción de hojas de haya por meses.

4.1.3. Ramas de pino

Los análisis estadísticos no han detectado diferencias significativas entre tratamientos de claras para ninguna de las fechas (septiembre, $P=0,8055$; octubre, $P=0,9403$; noviembre, $P=0,5781$; diciembre, $P=0,6557$). Sin embargo, durante el mes de octubre en Garde hubo una producción significativamente menor ($P=0,0313$) de ramas de pino que en los dos doseles de Aspuz.

Como se puede ver en las siguientes gráficas (Figura 25) ninguno de los tres sitios siguió un patrón claro. Se puede remarcar como en el caso de Aspuz mixto en noviembre se recogió el pico máximo (producido en octubre) y en Aspuz puro se recogió en octubre (producido en septiembre). En el caso de Garde, se ve algo más clara una tendencia a aumentar la producción de ramas de pino durante el mes de septiembre que luego volvió a disminuir durante el mes de octubre. Por ello, los resultados obtenidos deben considerarse con cautela debido a la grande variabilidad de los mismos.

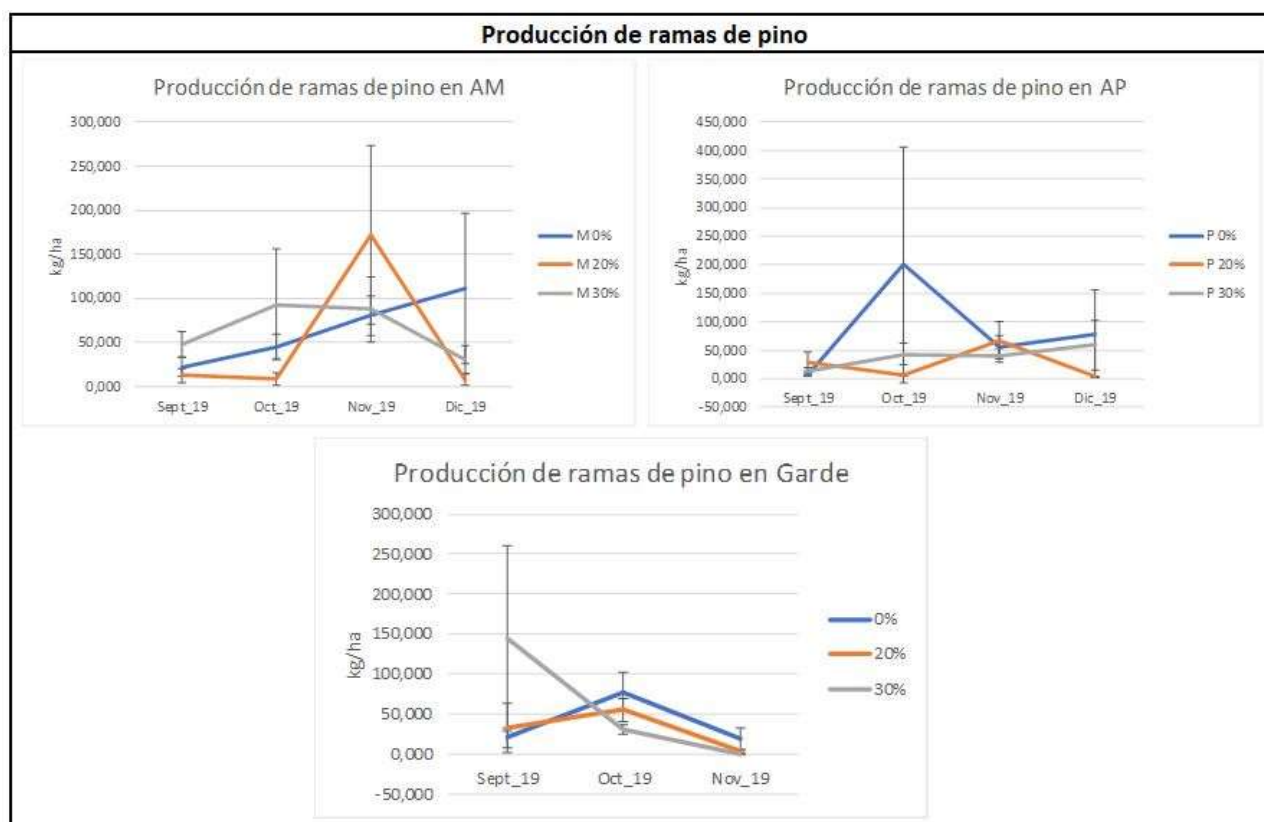


Figura 25: Producción de ramas de pino por meses.

4.1.4. Miscelánea

De acuerdo con los análisis estadísticos, no se han detectado diferencias significativas entre los distintos tratamientos de claras en ninguna de las fechas (septiembre, $P=0,6861$; octubre, $P=0,2954$; noviembre, $P=0,7210$; diciembre, $P=0,1889$). En cambio, sí que se han detectado diferencias significativas entre los distintos sitios en la producción de octubre ($P=0,001$). El resultado indicó que en Garde hubo una producción de miscelánea significativamente menor que en los dos doseles de Aspuz, sin haber diferencias entre ellos.

En las gráficas (Figura 26) se puede ver una tendencia similar entre Aspurz dosel mixto y Aspurz dosel puro, ya que en ambos casos la producción de desfronde aumentó durante el mes de octubre. Sin embargo, en el caso de Aspurz mixto la producción de miscelánea recogida en diciembre se mantuvo similar a la de noviembre, pero en Aspurz puro disminuyó levemente. En el caso de Garde, en el mes de octubre se recogió su máximo de producción y disminuyó drásticamente en el mes de noviembre.

Por tanto, una vez más en Garde la mayor producción de miscelánea se dio un mes antes (en septiembre) que en Aspurz (en octubre).

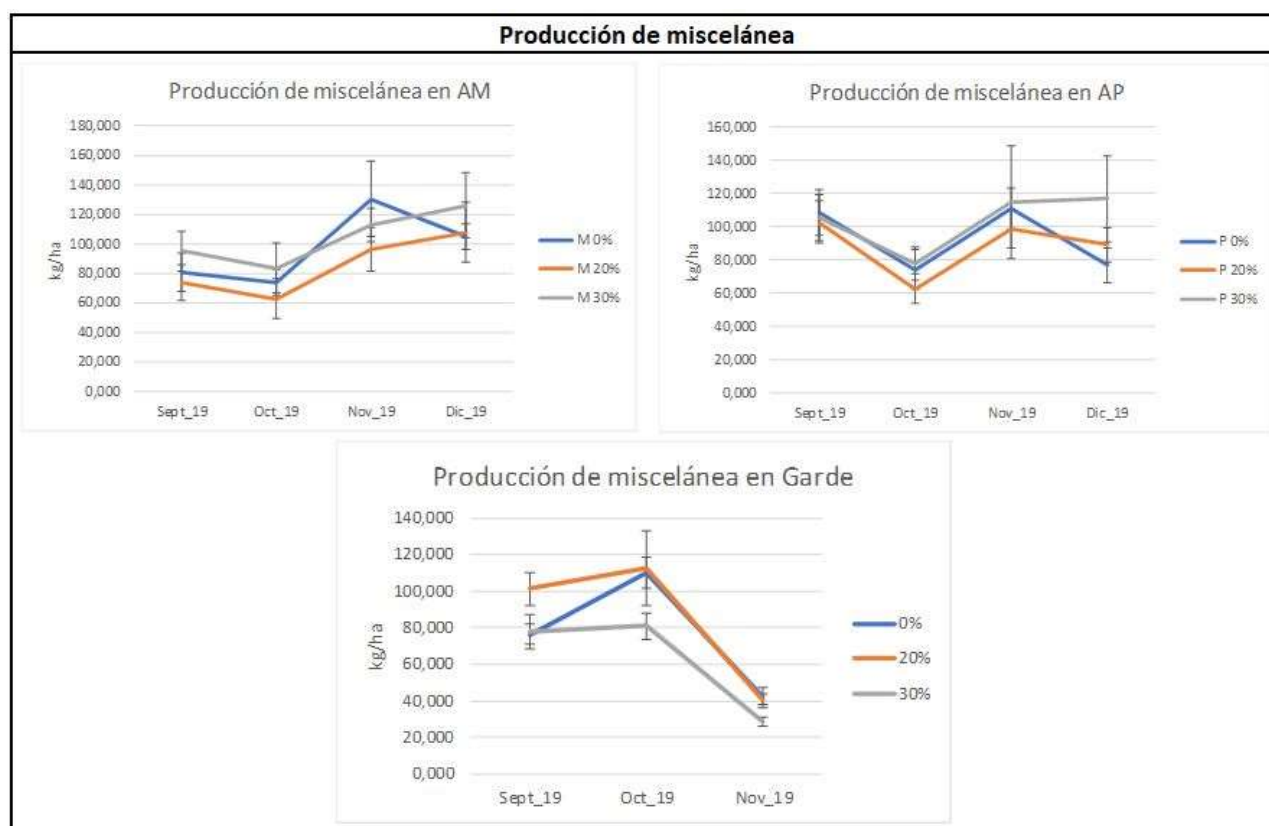


Figura 26: Producción de miscelánea por meses.

4.1.5. Hojas de otros árboles

En los análisis estadísticos no se han detectado diferencias significativas entre los distintos tratamientos de clara para las fechas de septiembre, $P=0,5875$; octubre, $P=0,0984$ y noviembre, $P=0,7210$. En el caso de la recogida de diciembre que únicamente se realizó en Aspurz, sí se han detectado diferencias entre tratamientos de las distintas claras ($P=0,0485$). El resultado de la prueba de Tukey HSD indica que en la clara fuerte (30%) hubo una producción de hojas de otros árboles significativamente menor que en las otras parcelas. Además, indica que la clara del 20% fue igual tanto al control (0%) como a la clara del 30%. También hubo diferencias significativas entre los distintos sitios. La producción de hojas de otros árboles durante el mes de agosto ($P=0,0079$) fue significativamente menor en Garde que en Aspurz mixto, pero no hubo diferencias entre Aspurz

puro y Garde ni entre Aspurz mixto y Aspurz puro. Es decir, las diferencias únicamente aparecieron entre el sitio más productivo (Aspurz mixto) y el menos productivo (Garde). En la producción del mes de septiembre y octubre también se han encontrado diferencias significativas entre los distintos sitios (septiembre, $P < 0,0001$; octubre, $P = 0,0008$), y el resultado indica que en Garde hubo una producción significativamente menor que en los dos doseles de Aspurz, pero entre estos dos no hubo diferencias.

La producción de hojas de árboles distintos a las de pino y haya representa una cantidad baja respecto al total del desfronde. En el caso de Garde la producción fue mucho menor que en Aspurz, ya sea en dosel mixto o puro. La producción máxima en Garde se recogió en el mes de septiembre y fue disminuyendo paulatinamente. Sin embargo, esta producción fue bastante significativa, ya que el máximo que se recogió no llegó a los 10 kg/ha en ninguno de los tratamientos. En el caso de Aspurz, fue casi lo contrario, ya que en septiembre se recogió el mínimo de producción y fue aumentando hasta alcanzar los máximos picos en noviembre y diciembre (Figura 27).

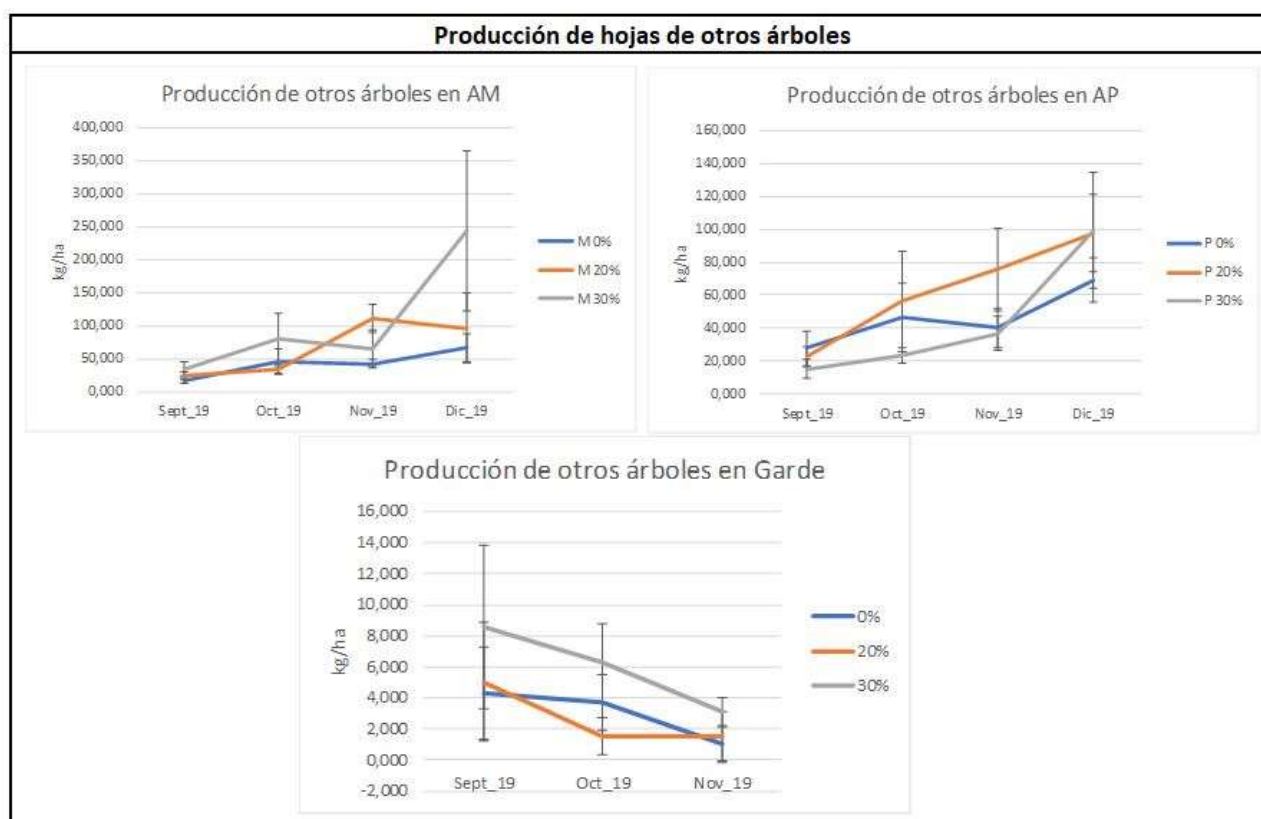


Figura 27: Producción de otros árboles por meses.

4.2. Efecto de la época del año en desfronde total

Los análisis estadísticos no han detectado diferencias significativas entre tratamientos para ninguna época del año (septiembre, $P = 0,8461$; octubre, $P = 0,9331$; noviembre, $P = 0,5218$; diciembre, $P = 0,6081$). Sin embargo, sí se detectaron diferencias significativas entre sitios en los meses de octubre ($P < 0,0001$), noviembre ($P = 0,004$) y diciembre ($P < 0,0001$), pero no en septiembre ($P = 0,3217$). De acuerdo con la prueba de Tukey HSD, en el mes de octubre en Garde hubo una

producción significativamente mayor que en los dos doseles de Aspuz, pero no hubo diferencias entre ellos. En el mes de noviembre, el resultado indica que en Aspuz puro hubo una producción de desfronde total significativamente menor que en Garde y en Aspuz dosel mixto, pero no hubo diferencias entre ellos. En el mes de diciembre, como se ha dicho anteriormente no se recogieron muestras en la localidad de Garde, por lo que al haber únicamente dos sitios (Aspuz puro y Aspuz mixto) no hace falta hacer la prueba de Tukey HSD, ya que lógicamente un sitio tiene que ser diferente al otro, y Aspuz mixto tuvo significativamente más desfronde que Aspuz puro.

Como se observa en las gráficas (Figura 28) en la localidad de Aspuz la tendencia de producción fue similar en ambos tipos de dosel, ya que durante los meses de septiembre, octubre y noviembre no hubo mucha variabilidad en cuanto a la producción, pero en el mes de diciembre aumentó drásticamente en ambos tipos de dosel, produciéndose en Aspuz mixto el doble de desfronde que en Aspuz puro. Sin embargo, el desfronde en Garde fue inverso al producido en Aspuz, ya que la producción aumentó de golpe obteniendo su máximo en octubre y volvió a disminuir en noviembre hasta alcanzar valores similares a los obtenidos en septiembre.

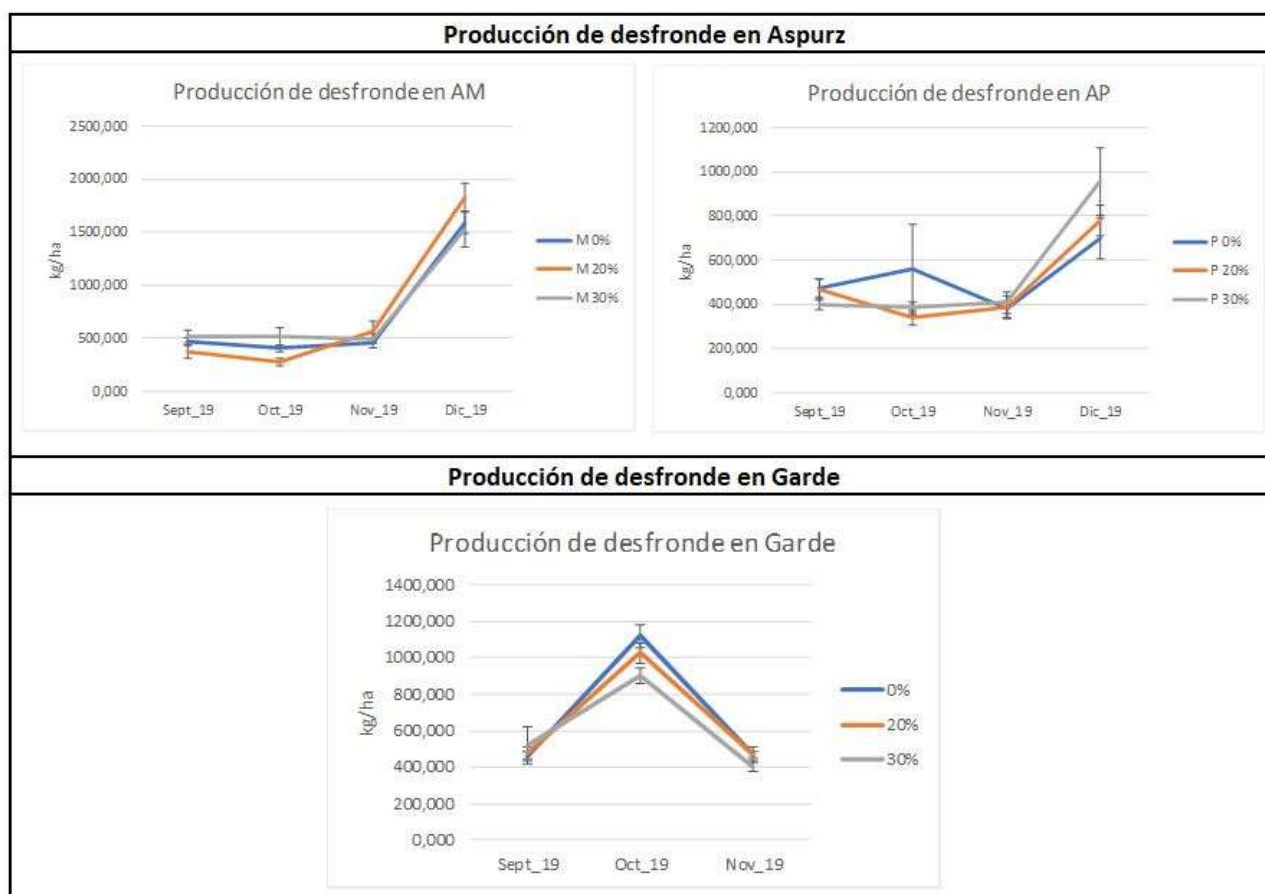


Figura 28: Producción de desfronde total por meses

4.3. Efecto de sitio, dosel y tratamiento en el desfronde total de cada tipo de hojarasca

4.3.1. Hojas de pino

Como se puede observar en la gráfica (Figura 29) y de acuerdo con los análisis estadísticos, no se ven diferencias significativas entre los distintos tratamientos de clara realizados. Sin embargo, sí hay diferencia entre sitios ($P < 0,0001$) y también un efecto significativo de la interacción sitio por tratamiento ($P = 0,0236$).

Por un lado, el resultado de la prueba Tukey HSD indica como en Garde hubo una producción de hojas de pino significativamente mayor que en los dos doseles de Aspurz. Esto se ve en la gráfica claramente, ya que la producción en Aspurz fue similar para los dos tipos de dosel y en el caso de Garde se multiplicó alcanzando casi valores dobles.

Por otro lado, al haber también un efecto significativo de la interacción sitio por tratamiento, el resultado de la prueba Tukey HSD indica que el efecto del tratamiento es diferente para cada sitio. En el caso de Garde el orden de mayor a menor (de los que más produjeron a los que menos) fue $20\% > 0\% > 30\%$, en Aspurz mixto fue $30\% > 0\% > 20\%$ y en Aspurz puro fue $0\% > 20\% > 30\%$. Sin embargo, esto no significa que el tratamiento por separado influya de manera significativa, porque no ha salido así en el análisis individual de este factor.

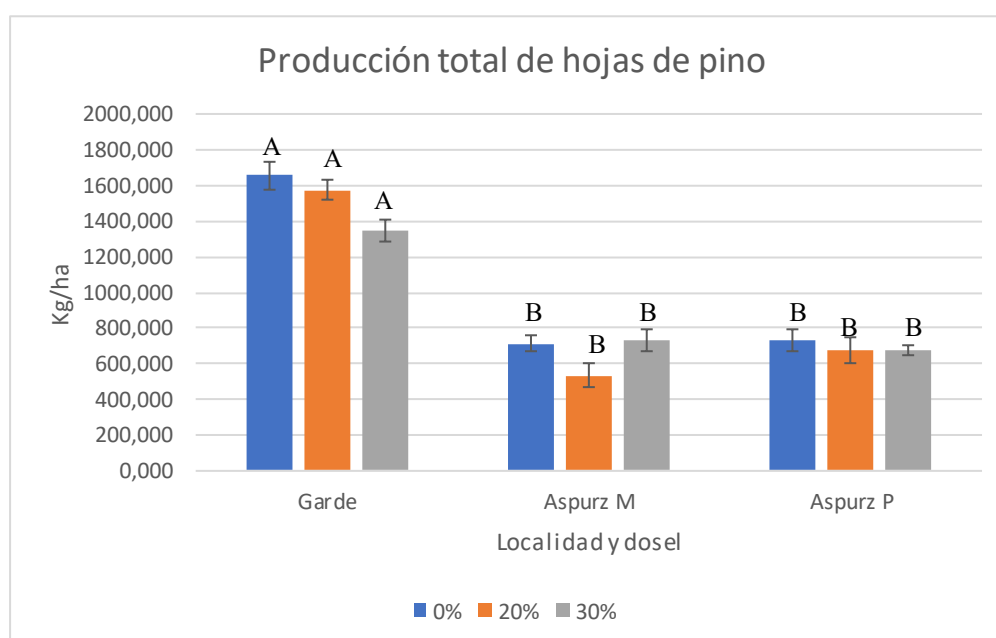


Figura 29: Producción de hojas de pino según localidad, dosel y tratamiento. Las letras indican diferencias significativas según la Prueba Tukey HSD ($P < 0,05$).

4.3.2. Hojas de haya

En la gráfica (Figura 30) se puede ver una clara diferencia entre sitios ($P < 0,0001$), pero no entre tratamientos. Los resultados indican que en el dosel mixto de Aspurz hubo una producción de hojas

de haya significativamente mayor que en los doseles dominados por pino, pero a su vez, la producción de hojas de haya en Aspurz puro fue significativamente superior a la de Garde cuya producción fue prácticamente nula.

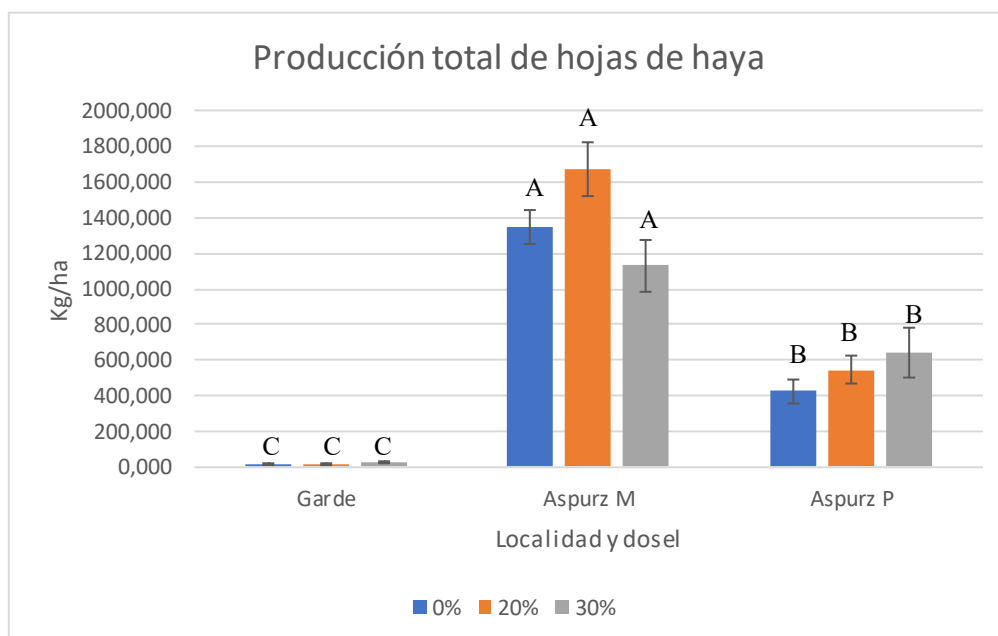


Figura 30: Producción de hojas de haya según localidad, dosel y tratamiento. Las letras indican diferencias significativas según la Prueba Tukey HSD ($P < 0,05$).

4.3.3. Ramas de pino

En los análisis estadísticos se han detectado diferencias significativas entre tratamientos ($P = 0,0227$), pero no entre sitios. Los resultados indican (Figura 31) que en las parcelas sin aclarar (0%) hubo una producción de ramas de pino significativamente mayor que en las parcelas con una clara del 20%. También indican que la clara del 30% fue igual tanto al control como a la clara del 20%.

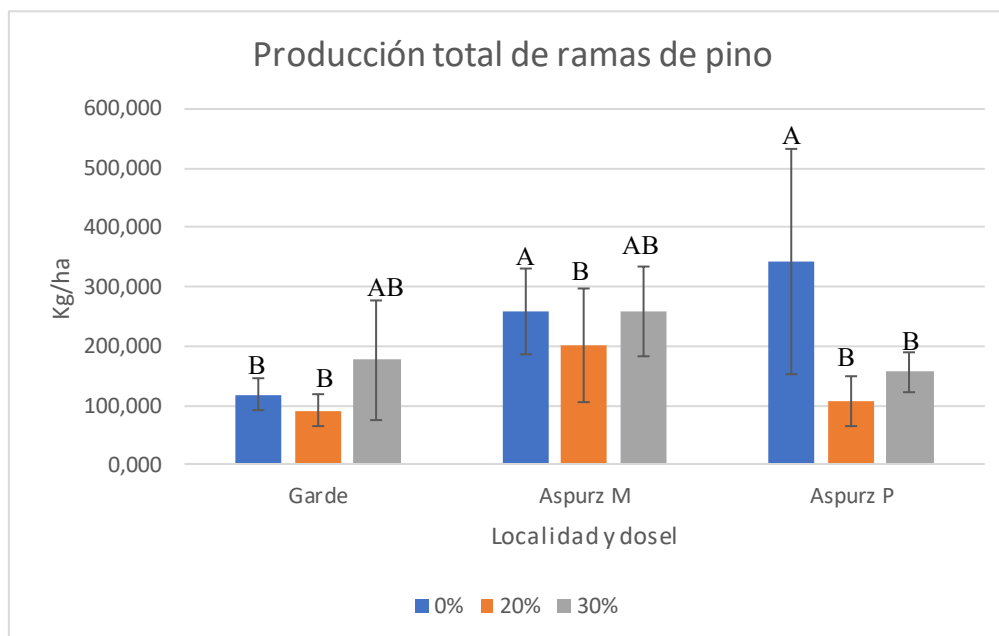


Figura 31: Producción de ramas de pino según localidad, dosel y tratamiento. Las letras indican diferencias significativas según la Prueba Tukey HSD ($P < 0,05$).

4.3.4. Miscelánea

Los análisis estadísticos indicaron el efecto significativo del sitio ($P < 0,0001$), pero no del tratamiento. Se puede ver como las producciones de miscelánea fueron muy similares en los dos doseles de Aspurz y mayores que en Garde (Figura 32).

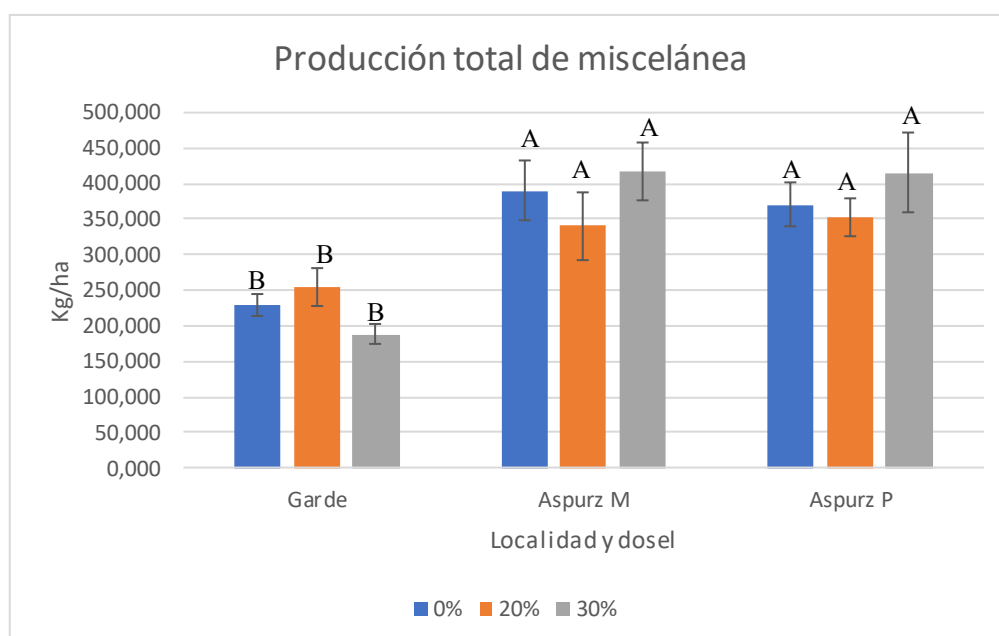


Figura 32: Producción de miscelánea según localidad, dosel y tratamiento. Las letras indican diferencias significativas según la Prueba Tukey HSD ($P < 0,05$).

4.3.5. Hojas de otros árboles

Los análisis estadísticos detectaron diferencias significativas en el efecto del sitio ($P < 0,0001$) y también del tratamiento ($P = 0,0194$) sobre el desfronde de otros árboles.

Por un lado, se ve que en los dos tipos de dosel de Aspurz hubo una producción de otros árboles significativamente mayor que en Garde, pero no hubo diferencias entre ellos (Figura 33). Por otro lado, el efecto del tratamiento se ve que en las parcelas sin aclarar (0%) hubo una producción de otros árboles significativamente menor que en las parcelas con clara fuerte (30%), y a la vez indica que las parcelas con una clara del 20% fueron iguales tanto al control como a la clara del 30%.

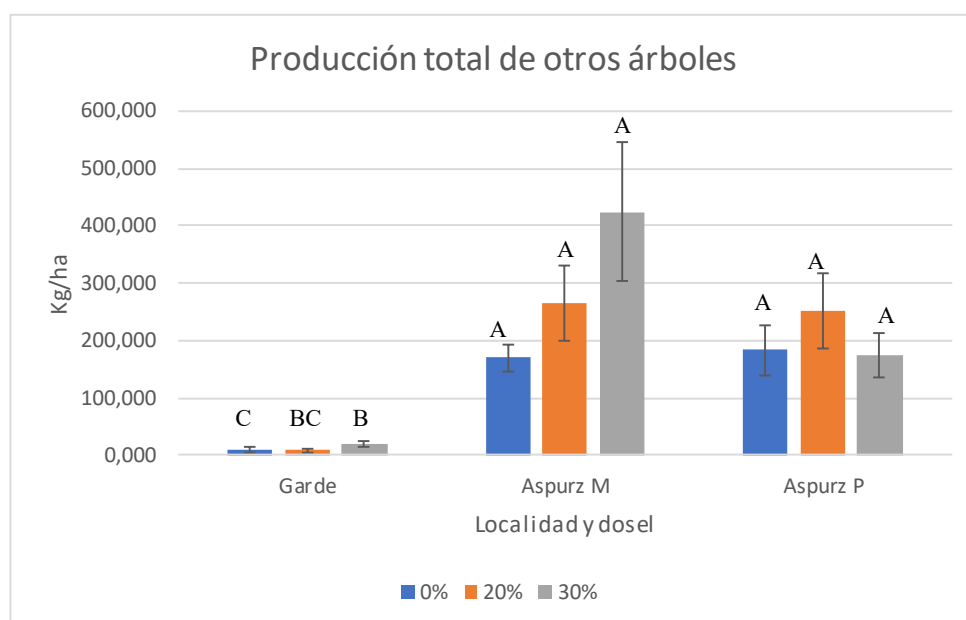


Figura 33: Producción de otros árboles según localidad, dosel y tratamiento. Las letras indican diferencias significativas según la Prueba Tukey HSD ($P < 0,05$).

4.4. Efecto de sitio, dosel y tratamiento por desfronde total

Como se observa en la gráfica (Figura 34) no se ven diferencias significativas entre tratamientos de clara, pero sí entre distintos sitios ($P < 0,0001$). Los resultados indican que bajo el dosel mixto de Aspurz hubo una producción significativamente mayor que en el dosel puro de Aspurz y que en Garde. En la gráfica se ve como en Aspurz mixto la producción media total de desfronde fue mayor (3.001 kg/ha) que en Aspurz puro (2.077 kg/ha) y que en Garde (1.952 kg/ha).

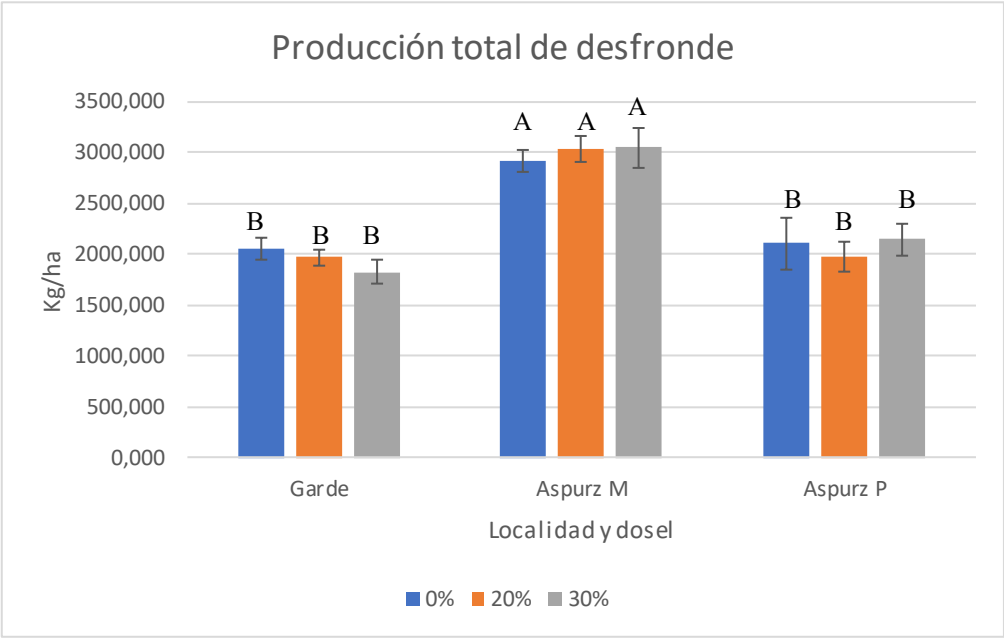


Figura 34: Producción de desfronde total según localidad, dosel y tratamiento. Las letras indican diferencias significativas según la Prueba Tukey HSD ($P<0,05$).

5. DISCUSIÓN

5.1. Influencia del sitio (Garde/Aspurz)

La producción total de desfronde que se obtuvo en los dos doseles de Aspurz (2.540 kg/ha) fue mayor a la obtenida en Garde (1.952 kg/ha). El valor máximo obtenido en Aspurz (3.050 kg/ha) se dio en las parcelas con un aclareo del 30%, mientras que, en Garde el valor máximo (2.054 kg/ha) se dio en las parcelas testigo con un aclareo del 0%.

Estas diferencias obtenidas en la producción total de biomasa o desfronde entre localidades puede deberse a diversos factores como la climatología, la localización geográfica etc. Además, es importante mencionar que cada lugar tendrá sus propias características de pluviometría, altitud, pendiente y temperaturas que afectarán de manera importante a esta producción.

El clima tiene un gran efecto sobre la producción total de desfronde de cada sitio. En Aspurz, el clima es más favorable que en Garde para el desarrollo de los pinos, ya que al tener temperaturas más templadas el periodo de crecimiento anual es mayor y con ello, la producción de hojarasca. Sin embargo, las precipitaciones y, por tanto, la disponibilidad de agua en Aspurz es menor que en Garde, lo que al sumarlo a las altas temperaturas puede ocasionar periodos de sequía que al no disponer de agua ocasione una reducción considerable de la producción de hojarasca.

Otro factor que limita la producción de hojarasca en Garde es la pendiente cercana al 50%. Los árboles no se desarrollan tan bien como en Aspurz y con ello, la producción de hojarasca es menor debido a que al tener una pendiente elevada, el agua que desciende va con mayor velocidad y arrastra con ella gran parte de los nutrientes. Pretzsch et al. (2015) observaron como en suelos con mala nutrición el haya queda dominado por el pino silvestre y, debido a su gran tolerancia a la sombra permanece como un sotobosque. Esto es lo que puede haber pasado en Garde, ya que al tener mayor pendiente que en Aspurz los nutrientes arrastrados son mayores y como consecuencia las hayas no se desarrollan tanto y tampoco contribuyen al desfronde.

De forma general, el desfronde en la localidad de Garde se produjo antes que en la localidad de Aspurz, obteniéndose el máximo de recogida de hojarasca en Garde en el mes de octubre y en Aspurz el mes de diciembre. Es importante resaltar que en Garde la fracción de hojas de pino ocupó la mayor parte del desfronde recogido (78%), la cual ha aumentado, ya que Blanco (2004) en sus datos registró un 70%. En el caso de Aspurz fueron las hojas de haya (38%) las que más ocuparon respecto al desfronde total.

La caída principal de acículas en el caso de Garde se produjo durante el mes de septiembre (2.493 kg/ha). Fue una caída brusca ya que casi la totalidad de las hojas de pino se desprendieron durante este mes. La producción registrada durante este mes fue mayor en comparación con otros años. Agós (2018) en su estudio durante el otoño de 2017 registró una producción de acículas para el mes de septiembre de aproximadamente 905 kg/ha. Esto se debe a que durante este mes las precipitaciones fueron inferiores a la media histórica, y junto con las altas temperaturas de verano

ocasionaron la caída repentina de las hojas de pino. La sequía de verano provoca que las hojas caigan más bruscamente, ya que una menor cantidad de hojas produce una mayor eficiencia en el uso de agua cuando esta escasea (Blanco et al., 2006). En Aspurz, la máxima caída de las hojas de pino se produjo durante el mes de agosto (290 kg/ha) y fue disminuyendo paulatinamente. Este adelanto de la caída respecto a Garde se debe a las condiciones de déficit hídrico, el cual impide que el árbol mantenga la totalidad de su masa foliar y termine provocando la caída durante estos meses para tener una mayor eficiencia en el uso del agua. También puede deberse a que los procesos que conducen a la caída de acículas en Garde se retrasen por tener temperaturas más bajas (Blanco et al., 2006). Por tanto, la producción total de hojas de pino en Aspurz (2.031 kg/ha) fue menor que en Garde (4.582 kg/ha). Esta producción de Aspurz se asemeja a la registrada por Bueis et al. (2017) en unas plantaciones de *Pinus sylvestris* en Castilla y León que fue de 2.357 kg/ha. donde el mes de mayor desfronde también fue agosto. Garcia del Barrio et al. (2008) en su estudio en la Sierra de Guadarrama (Segovia) observaron una diferencia significativa en el desfronde de acículas en relación con la altitud de las parcelas. En la parcela más alta registraron mayor cantidad (2.475 kg/ha) que en la más baja (1.650 kg/ha) y lo relacionaron principalmente con la estructura de la masa, siendo más densa y con un dosel más cerrado en la parcela a mayor altitud. Además, en la parcela de menor altitud la mayor caída de acículas fue en agosto y en la de mayor altitud durante el mes de septiembre, lo cual coincide con lo registrado en las parcelas de Garde y Aspurz. Estas asincronías en el desarrollo vegetativo las relacionaron con la altitud y la disponibilidad hídrica.

La máxima caída de hojas de haya se produjo en Aspurz durante el mes de noviembre llegando a recoger aproximadamente 900 kg/ha. Este pico en noviembre coincide con el observado por Lebreton et al. (2001) en su estudio de hojarasca para *Fagus sylvatica* donde registraron 980 kg/ha. En Garde, sin embargo, la caída máxima se dio un mes antes durante el mes de octubre (18,5 kg/ha). Agós (2018) en su estudio registró una producción mayor tanto en Aspurz (958 kg/ha) como en Garde (23 kg/ha). Esta diferencia entre localidades se debe a una mayor presencia de hayas en Aspurz que en Garde. Además, hay que tener en cuenta que Garde es un sitio menos favorable para el desarrollo de las hayas en comparación con Aspurz, por tanto, el tamaño que alcanzarán será menor y, con ello, la producción de hojarasca. Como se ha dicho antes, las temperaturas en Garde son menores, y si a eso se le suma que tiene una orientación noroeste la cual limita las horas de luz, provoca este adelanto en la caída de las hojas.

La producción de las ramas de pino como se ha visto anteriormente no muestra una tendencia clara en ninguna de las localidades. En Garde se puede ver como durante el mes de septiembre la caída aumentó (165 kg/ha) y en octubre disminuyó (23,5 kg/ha). Sin embargo, a principios de septiembre se recogió un pico de caída en una de las parcelas de 145 kg/ha que probablemente se deba a un episodio tormentoso durante el mes de agosto. El total de ramas registradas en Garde (386 kg/ha) coincide con las registradas por Carceller et al. (1993) en la Sierra del Moncayo que fue de 380 kg/ha. En la localidad de Aspurz la totalidad de ramas de pino caídas fue mayor (662 kg/ha) y la mayor caída se produjo durante el mes de septiembre (198 kg/ha) y octubre (252 kg/ha). En este caso, los picos en la caída de ramas se podrían relacionar además de con episodios tormentosos o fuertes vientos, con la sequía de verano, ya que en los meses de verano en Aspurz el agua escasea más que en Garde. Hay que tener en cuenta que en Aspurz al haber más presencia de hayas pueden llegar a sombrear las ramas más bajas de los pinos y estas al no recibir luz suficiente

mueran y caigan. Blanco (2004) en su estudio observó como la pendiente de cada localidad afecta en gran medida a la mortalidad de pinos, indicando que en la localidad que presenta mayor pendiente (Garde) hay muchas más ramas bajas que tienen suficiente disponibilidad lumínica como para continuar activas. Esta caída de ramas no se produce de forma homogénea en un bosque, dando como resultado cestas en las que no se recoge ninguna rama y otras, sin embargo, con una producción muy alta que coincide con que ha caído una rama.

En la producción de miscelánea al igual que con la producción de hojas de pino, también hubo un adelanto de un mes en Garde. Durante los meses de agosto (256 kg/ha) y septiembre (304 kg/ha) se produjo la mayor caída de miscelánea en las parcelas de Garde, que en Aspurz sin embargo, fue durante el mes de octubre (332 kg/ha). La producción total de miscelánea fue mayor en Aspurz (1.144 kg/ha) que en Garde (671 kg/ha) la cual se aproxima a la de Carceller et al. (1993) en la Sierra del Moncayo (684 kg/ha). Hay que tener en cuenta que en la fracción de miscelánea entra además de la corteza de pino, ramas de haya, piñas y demás. La razón por la que en Aspurz haya más producción de miscelánea que en Garde puede estar relacionada con el sombreado que las hayas provocan sobre las ramas de los pinos. La mayor presencia de hayas en Aspurz seguramente están oscureciendo el bosque y es posible que al haber más sombra, más ramas mueran y de estas ramas caiga más corteza.

La producción de hojas de otros árboles distintos al pino y al haya mostró un patrón similar al de las hojas haya, lo cual indica que también se ven afectados por el clima y el fotoperiodo. En Garde, la producción recogida en septiembre fue la máxima (17,8 kg/ha) y fue disminuyendo paulatinamente. En Aspurz, el patrón fue contrario, ya que en septiembre se recogió lo mínimo (70,6 kg/ha) y la producción fue aumentando hasta en diciembre recoger lo máximo (335,8 kg/ha). Como se ha dicho, en Aspurz se hicieron dos claras mientras que en Garde se hizo solo una. Si a esto se le suma que las temperaturas en Aspurz son más templadas que en Garde, la posibilidad de que otras especies arbóreas distintas a pinos y hayas crezcan entre los espacios dejados por las claras es mayor. Por tanto, esto explicaría la mayor producción de otros árboles en Aspurz y es porque coexisten otras variedades, lo cual indica que tiene una mayor diversidad arbórea.

En conjunto, la cantidad total de hojarasca registrada fue mayor en Aspurz (7.618 kg/ha) que en Garde (5.857 kg/ha). Estos resultados se asemejan a los estudios en *Pinus sylvestris* de Berg et al. (1999) donde registraron una producción de 6.604 kg/ha en la costa francesa, a los de Kurz-besson (2015) que registró unas producciones de 6.270 kg/ha en La Gileppe (Bélgica) y a los de Santa Regina et al. (2000) con una producción de 5.791 kg/ha en la Sierra de La Demanda (La Rioja). En el estudio de De La Cruz et al. (2009) se vio claramente la influencia del sitio, ya que en Soria registraron una producción de 3.500 kg/ha y en Segovia de 6.650 kg/ha. Las producciones totales medias registradas por Gloaguen & Touffet (1976) en Villecartier (Francia) durante cuatro años de estudio, sin embargo, fueron más elevadas (8.230 kg/ha). Estas diferencias, por tanto, están relacionadas principalmente con las condiciones climáticas propias de cada sitio. En este caso, dado que en Garde no existe un periodo de déficit hídrico y en Aspurz, solo se produce levemente en julio y agosto, es de suponer que la mayor influencia en la producción de hojarasca haya sido debida a la diferencia de temperaturas entre ambos bosques. Con temperaturas más bajas, la duración del periodo vegetativo durante el cual los árboles puede producir biomasa descendiende, por

lo que la producción de hojarasca también resulta menor (Blanco, 2004). Se puede ver cómo tras 18 años en ambos sitios se ha incrementado la producción. Blanco (2004) en su tesis registro unas producciones menores tanto para Aspurz (5.533 kg/ha) como para Garde (3.986 kg/ha).

5.2. Influencia del dosel

La producción total obtenida en el dosel mixto (9.003 kg/ha) fue considerablemente mayor a la obtenida en el dosel puro (6.233 kg/ha). El máximo valor obtenido tanto en el dosel mixto (3.035 kg/ha) como en el dosel puro (2.150 kg/ha) se dio en las parcelas con 30% de aclareo.

Estas diferencias en producciones pueden deberse a la cantidad de hayas presentes en cada parcela, ya que las diferencias climáticas no existen al estar muy próximas entre sí. En las claras realizadas únicamente se quitaron pinos, por tanto, eso explicaría que el dosel mixto con más hayas antes de las claras que el dosel puro produzca casi 2.800 kg/ha más de desfronde.

Los bosques mixtos son más eficientes a la hora de usar los recursos, ya que, al haber dos especies diferentes, no compiten entre ellas directamente para lograr los principales recursos como la luz, agua y nutrientes. Las hayas tienen unas raíces más profundas que los pinos, y, por ello, logran captar nutrientes del suelo que a los pinos les es imposible obtener (González de Andrés, 2018).

Martínez (2007) observó como la estructura del dosel del pinar influye significativamente en la radiación lumínica disponible en el sotobosque. Cuando el dosel deja pasar más luz, el sotobosque está más iluminado y así se puede desarrollar más. Esta puede ser otra razón para que el dosel mixto tenga mayor producción que el dosel puro, al tener una menor cantidad de pinos la radiación que recibe el sotobosque es mayor, y, por tanto, las hayas y otras especies arbóreas han podido desarrollarse más contribuyendo así al desfronde total de la parcela de estudio.

Pretzsch et al. (2015) en su estudio en distintos países de Europa observaron las diferencias entre rodales mixtos de *Pinus sylvestris* y *Fagus sylvatica* y rodales puros de *Pinus sylvestris*. La mayor productividad de los bosques mixtos en comparación con bosques puros la asociaron a una mayor disponibilidad y eficiencia en el uso de los recursos, siendo los pinos los que promueven grandes entradas de elementos minerales al sistema suelo-planta, mientras que las hayas son las responsables de un mayor reciclaje de nutrientes. Condés et al. (2013) también vieron un aumento en la eficiencia de crecimiento del pino con la mezcla de haya.

La producción total de hojas de pino en el dosel mixto (1.976 kg/ha) fue algo menor a la del dosel puro (2.086 kg/ha). Esta diferencia puede estar relacionada con que el dosel puro al tener menor cantidad de hayas las copas de los pinos puedan ocupar más espacio y, por tanto, no haya tanta competencia por la luz como puede ocurrir en el dosel mixto, donde las hayas ocupan más espacio y sombrean a los pinos produciendo estos menos desfronde. Agós (2018) en su estudio

durante el otoño de 2017 en estas mismas parcelas registró una producción de hojas de pino muy similar tanto para el dosel mixto (1.900 kg/ha) como para el dosel puro (2.020 kg/ha).

El desfronde de las hojas de haya fue la fracción que más diferencias marcó entre los dos tipos de dosel. En el dosel mixto (4.150 kg/ha) la producción fue notablemente mayor a la del dosel puro (1.609 kg/ha). Estos resultados fueron muy semejantes a los obtenidos por Agós (2018) donde registró una producción para el dosel mixto de aproximadamente 4.430 kg/ha y para el dosel puro de 1.380 kg/ha. La diferencia de producción entre los dos tipos de dosel se debe a las dos razones citadas anteriormente. En las claras realizadas al haber eliminado solamente pinos, en el dosel mixto que desde un inicio ya contaba con más hayas que el dosel puro, estas pudieron desarrollar sus copas más ocupando el espacio vacío y, por tanto, producir más desfronde que el dosel puro. Y, además, al coexistir pinos y hayas, como se ha dicho estos bosques son más eficientes, ya que no compiten directamente por las mismas necesidades de nutrientes puesto que las raíces de las hayas exploran más profundo que las de los pinos. Sin embargo, una gran cantidad de hayas puede ocasionar un aumento en la competitividad por la luz haciendo que los pinos se desarrollen menos y queden ocluidos limitando considerablemente su producción. Primicia (2013) en su estudio vio como en el dosel mixto, en comparación con el dosel puro hubo un incremento de la competencia árbol-a-árbol sobre el pino y una reducción de la humedad del suelo, que estuvieron relacionados con el descenso del crecimiento del pino silvestre. Pretzsch et al. (2016) también observaron que con el paso de los años el haya finalmente termina compitiendo con el pino silvestre.

La producción de ramas de pino fue nuevamente mayor en el dosel mixto (719 kg/ha) que en el dosel puro (605 kg/ha). Al haber más cantidad de hayas en el dosel mixto que en el puro, esto puede producir una limitación de luz y condiciones de estrés sobre los pinos que, si además se le suman fuertes vientos o tormentas, ocasionan la caída de las ramas muertas. Pretzsch et al. (2016) observaron como la interferencia del haya puede reducir la cantidad de ramas de pino silvestre debido a la mayor expansión de su copa.

En cuanto a la producción de miscelánea esta fue algo mayor en el dosel mixto (1.150 kg/ha) que en el dosel puro (1.140 kg/ha). Como se ha dicho antes, hay mayor presencia de hayas en el dosel mixto, es decir, la oscuridad es cada vez mayor para los pinos y estos dejan de generar hojas porque no sirven para la fotosíntesis, las ramas se secan y empiezan a perder la corteza antes de caer. Esto explica tanto la mayor producción de ramas de pino como de miscelánea.

La última fracción que corresponde con el desfronde de otros árboles fue mayor en el dosel mixto (859 kg/ha) que en el dosel puro (610 kg/ha). Como se ha dicho en el apartado anterior, en Aspuz coexisten distintas variedades de especies arbóreas, por lo tanto, lógicamente va a haber más producción de otros árboles en el dosel mixto que en el dosel puro, donde no hay tanta cantidad de otras especies arbóreas distintas al pino silvestre.

5.3. Efecto de las claras

En la producción total de hojarasca no se detectaron diferencias entre tratamientos, es decir, la producción no varió según la clara realizada. La retirada de un determinado porcentaje de área basal no supone una disminución equivalente del desfronde (Blanco, 2004). La consecuencia más notable al realizarse prácticas de aclareo es la disminución del número de árboles en la parcela en la que se ha realizado este tratamiento. Como se ha comentado, las claras realizadas fueron claras por lo bajo, es decir, eliminar todos aquellos árboles que hayan sido dominados, malformados o muertos. Por lo tanto, las claras se realizaron en árboles ocluidos los cuales no aportan tanta cantidad al desfronde total del bosque, y por ello, puede no haber tantas diferencias entre tratamientos. Otra razón puede ser que las claras se realizaron hace bastante tiempo (1999 en Garde y 1999 y 2009 en Aspurz) y puede haber ocurrido que los espacios que quedaron libres en las parcelas al realizarse las claras hayan sido ocupados por otras especies igualando así las condiciones de las parcelas testigo.

En la producción de hojas de pino no existieron diferencias significativas para los distintos tratamientos. Se espera que en aquellas parcelas que se han realizado claras al disminuir la competencia, los árboles restantes desarrollen más sus copas contribuyendo así más al desfronde de hojas de pino. Sin embargo, no es esto lo que ocurrió y puede deberse, a que con el paso del tiempo crezcan otras especies ocupando el espacio dejado por las claras y compitiendo nuevamente por la luz con los pinos restantes. También ha podido ocurrir que los pinos que se dejaron al realizar las claras ya hayan ocupado todo el espacio y hayan alcanzado una edad en la que sean menos productivos.

Tampoco existieron diferencias entre tratamientos para la producción de hojas de haya. Se esperaría que cuanto mayor porcentaje de clara, más producción de hojas de haya hubiera debido a la mayor presencia de estas ocupando espacios vacíos. Sin embargo, como se ha dicho antes las claras se realizaron hace bastante tiempo, por lo que las condiciones de competencia en las parcelas testigo y en las parcelas con claras puede haber llegado a igualarse.

En el caso de la producción de ramas de pino sí que se detectaron diferencias entre tratamientos. Los resultados mostraron como las parcelas sin claras tuvieron una mayor producción que las parcelas con una clara del 20%, y, a la vez, que la clara del 30% fue igual al control como a la clara del 20%. Esto puede deberse a que en las parcelas testigo al no eliminarse pinos estos son más grandes y viejos y, por tanto, la cantidad de ramas que pierden es mayor. Sarriés (2018) en su estudio observó que son las parcelas testigo las que, al tener mayor cantidad de árboles, también son las que mayor presencia de ejemplares muertos tienen, y esa mayor mortalidad es debida a la competencia, la cual aumenta cuanto mayor es la densidad de árboles. Por ello, es lógico que en las parcelas control haya una mayor producción de ramas de pino.

En la producción de miscelánea tampoco hubo diferencias entre tratamientos. Si que las hubo para la producción de otros árboles. Los resultados indicaron como en las parcelas con clara del 30% hubo una producción mayor de hojas de otros árboles. Esto como se ha dicho antes es de esperar, ya que los espacios que quedan por las claras se pueden ocupar con otras especies arbóreas distintas a pinos y hayas.

Se puede ver como después de 20 años en Garde y 10 años en Aspurz el dosel arbóreo se ha recuperado, ya que no se ven diferencias significativas entre tratamientos de clara para la mayoría de las fracciones analizadas. Roig et al. (2005) en su estudio para *Pinus pinaster* y Navarro et al. (2013) en *Pinus halepensis* registraron diferencias significativas entre tratamientos durante los 5 años siguientes al tratamiento de clara, cuanto mayor era el porcentaje de aclareo menor era la cantidad de desfronde producido. Pasados los cinco años, estos efectos desaparecieron. La efectividad del tratamiento la asociaron a la reducción de la competencia entre árboles, que mejoró el crecimiento individual. Esta desaparición de los efectos del tratamiento coincide con el estudio sobre la silvicultura en pino silvestre que llevaron a cabo Montero et al. (2016) donde los resultados muestran como la rotación de las claras que se adapta a la especie de *Pinus sylvestris* se sitúa próxima a los 10 años. Por tanto, en nuestras parcelas de estudio el dosel ya se ha cerrado y es por eso por lo que no se ven diferencias entre tratamientos.

6. CONCLUSIONES

Para concluir, y teniendo en cuenta las tres hipótesis planteadas al principio del estudio se aceptarán o rechazarán en función de los resultados que hayamos obtenido. La primera hipótesis indicaba que, debido a las condiciones climáticas diferentes de cada localidad, la producción de desfronde en Aspurz sería mayor que en Garde, y así lo mostraron los resultados obteniendo un total de 7.618 kg/ha en Aspurz y 5.857 kg/ha en Garde. Con la segunda hipótesis se esperaba que en las parcelas en las que se han realizado claras, la cantidad total de desfronde sea menor a las parcelas sin intervenir, y, nuevamente, así lo mostraron los resultados obteniendo el máximo de desfronde en las parcelas sin intervenir al 0% (7.080 kg/ha), seguido de las del 30% (7.028 kg/ha) y de las de 20% (6.985 kg/ha). Sin embargo, y de acuerdo con los análisis estadísticos, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos para la producción total, y como se ve, las diferencias son mínimas entre ellos, por lo que rechaza la hipótesis. Por último, la tercera hipótesis señalaba que las claras favorecen la aparición de otras especies diferentes a los pinos rellenando esos “huecos” que quedan tras los tratamientos, y, efectivamente, así lo mostraron los resultados con una producción significativamente mayor en las parcelas al 30% (617 kg/ha) que fue disminuyendo de acuerdo con la intensidad de clara (525 kg/ha para el 20% y 363 kg/ha para el 0%).

- La producción de desfronde fue mayor en Aspurz que en Garde. Esto se debe a las mejores condiciones climáticas que permiten un mayor desarrollo de los árboles y con ello la producción de biomasa aérea.
- El desfronde total de Garde está representado en su mayor parte por hojas de pino. En Aspurz, son las hojas de haya las que ocupan la mayor parte de la producción.
- La producción de acículas en Aspurz se ha adelantado un mes respecto a Garde. Este adelanto en la caída puede deberse a un mayor déficit hídrico de la zona, el cual impide que el árbol mantenga la totalidad de masa foliar.
- En Garde la caída de las hojas de haya se da un mes antes que en Aspurz. Esto puede ser debido a la adaptación al frío, ya que, temperaturas más bajas producen mayor estrés en los árboles eliminando su masa foliar para impedir que pueda ser atacada por las heladas.
- En Aspurz la producción de ramas es mayor que en Garde, ya que, al haber una mayor presencia de hayas y una menor pendiente las ramas están más sombreadas.
- El dosel mixto de Aspurz es más productivo que el dosel puro. Estas diferencias en producciones pueden deberse a la cantidad de hayas presentes en las parcelas, las cuales al ser de hoja caduca tiran todas las hojas incorporando al suelo una gran cantidad de nutrientes, y, además, no compiten directamente con los pinos ya que sus raíces exploran más profundo que las de los pinos.

- No se han observado diferencias significativas entre los distintos tratamientos de clara para ninguna de las parcelas. Esto puede deberse, por una parte, a que las claras se realizaron hace bastante tiempo y las condiciones se han igualado en las parcelas control y las de tratamiento al crecer en los espacios libres nuevas especies arbóreas. Por otra parte, también puede deberse a que en las claras por lo bajo al eliminar únicamente árboles dominados o muertos y estos no aportar mucho desfronde, apenas se noten diferencias entre tratamientos.
- Solamente se han observado diferencias entre tratamientos en la producción de ramas de pino y para otros árboles. Para las ramas de pino, fueron las parcelas testigo sin ningún tratamiento de clara las que mayor producción tuvieron. Esto es debido a que al tener más cantidad de árboles la competencia entre ellos es mayor y, por tanto, la cantidad de árboles muertos. Para la producción de otros árboles, fueron las parcelas con una clara del 30% las que mayor producción de hojas de otros árboles tuvieron, ya que estos ocuparon los espacios dejados por las claras.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Agós, M. (2018). *Influencia de la gestión forestal sobre la producción de desfronde en dos bosques del pirineo navarro*. Trabajo Fin de Grado. Universidad Pública de Navarra. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Ciencias del Medio Natural. Pamplona.
- Agroinformacion. (2017). Agroinformación. La Voz Del Campo. <https://agroinformacion.com/espana-aglutina-152-la-superficie-forestal-toda-la-union-europea/>
- ARBA. (2011). *Definición de qué es un bosque*. <https://arba-s.org/que-es-un-bosque/>
- Aspurz, J. (2015). *Estudio del desfronde en bosques mixtos del pirineo navarro: comparación de datos de campo con datos del modelo ecológico Forecast*. Trabajo Fin de Grado. Universidad Pública de Navarra. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Ciencias del Medio Natural. Pamplona.
- Auzmendi, I. (2002). *Producción de masa vegetal aérea en dos bosques de Pinus sylvestris L. y su respuesta a distintas intensidades de clara*. Trabajo Fin de Grado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Ciencias del Medio Natural. Universidad Pública de Navarra. Pamplona.
- Berg, B., Albrektson, A., Berg, M. P., Cortina, J., Johansson, M.-B., Gallardo, A., Madeira, M., Pausas, J., Kratz, W., Vallejo, R., & McClaugherty, C. (1999). Amounts of litter fall in some pine forests in a European transect, in particular Scots pine. *Annals of Forest Science*, 56(8), 625–639. <https://doi.org/10.1051/forest:19990801>
- Blanco, J. (2004). *La Práctica de las Claras Forestales y su Influencia en el Ciclo Interno de Nutrientes en Dos Bosques de Pino Silvestre de Los Pirineos Navarros*. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Ciencias del Medio Natural. Universidad Pública de Navarra. Pamplona.
- Blanco, J., Imbert, J. B., & Castillo, F. J. (2006). Influence of site characteristics and thinning intensity on litterfall production in two Pinus sylvestris L. forests in the western Pyrenees. *Forest Ecology and Management*, 237(1–3), 342–352. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.057>
- Bueis, T., Bravo, F., Pando, V., & Turrión, M. B. (2017). Influencia de la densidad del arbolado sobre el desfronde y su reciclado en pinares de repoblación del norte de España. *Bosque*, 38(2), 401–407. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002017000200017>
- Carceller, F., Ibáñez, J. ., Ontañón, C., & Veyreda, J. (1993). *Análisis de la estructura y biomasa de Pinus sylvestris en función de un gradiente altitudinal en la Sierra del Moncayo*. Congreso Forestal Español.
- Castillo, F. J., Imbert, J. B., & Blanco, J. (2017). Dieciocho años de investigación y educación forestal en la UPNA. *Navarra Forestal*, 41, 38–41.
- Castillo, F. J., Imbert, J. B., Blanco, J., Traver, C., & Puertas, F. (2003). Gestión forestal sostenible de masas de pino silvestre en el Pirineo Navarro. *Revista Ecosistemas*, 12, N. 3. <http://hdl.handle.net/10045/8895>

- Chapin, F. S. (1980). The Mineral Nutrition of Wild Plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11(1), 233–260. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.11.110180.001313>
- Condés, S., Del Rio, M., & Sterba, H. (2013). Mixing effect on volume growth of *Fagus sylvatica* and *Pinus sylvestris* is modulated by stand density. *Forest Ecology and Management*, 292, 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.013>
- De La Cruz, A., González, M., Serrano, M., Minaya, M. T., Portillo, M., & Grau, J. (2009). Producción y composición química del desfronde en las parcelas intensivas de la red europea de Nivel II (ICP-Forest). *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 368.
- Enríquez de Salamanca, Á., & Muñoz, I. (2018). El sector forestal y la protección del medio natural en la Unión Europea. *Revista Forestales*. <http://www.forestales.net/Canales/Ficha.aspx?IdMenu=b6947309-987f-4bff-808d-4e7e974ccaf8&Cod=84ce5053-9df6-4c04-b3c9-664aaff2e326&Idioma=es-ES>
- FAO. (2006). *Los bosques y el cambio climático*. <http://www.fao.org/newsroom/es/focus/2006/1000247/index.html>
- García del Barrio, J., López, M., & Morales, D. (2008). Producción y renovación de acículas en la cubierta arbórea de un pinar de *Pinus sylvestris* en la Sierra de Guadarrama. Valsain (Segovia). *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 53(9), 287. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gloaguen, J., & Touffet, J. (1976). Production de litière et apport au sol d'éléments minéraux dans quelques peuplements résineux de Bretagne. *Annales Des Sciences Forestières*, 3(2), 87–107.
- Gobierno de Navarra. (1999). *Plan Forestal de Navarra*. Departamento de Medio Ambiente. Ordenación del Territorio y Vivienda.
- Gobierno de Navarra. Medio Ambiente. (n.d.). *Montes y bosques. Los bosques y montes de Navarra*. Retrieved February 24, 2020, from https://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Montes/Los+bosques+de+Navarra.htm
- González de Andrés, E. (2018). *Multi-scale approach to forest functioning of Pinus sylvestris L. and Fagus sylvatica L. mixtures of the Pyrenees under global change* [Tesis Doctoral. Universidad Pública de Navarra. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Ciencias del Medio Natural. Pamplona.]. <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/32538>
- Imbert, J. B., Blanco, J., & Castillo, F. J. (2004). Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. *Ecología Del Bosque Mediterráneo En Un Mundo Cambiante*, 17, 479–506. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.12.004>
- Kurz-besson, C. (2015). *Cathy Kurz (2000) PhD Thesis in Plant Ecology: Pine litter decomposition in a European climatic transect , the role of litter quality and Thèse de Doctorat Par. November*.

- Lebret, M., Nys, C., & Forgeard, F. (2001). Litter production in an Atlantic beech (*Fagus sylvatica* L.) time sequence. *Annals of Forest Science*, 58(7), 755–768. <https://doi.org/10.1051/forest:2001161>
- MAPA. (n.d.). *Bosques españoles y su evolución*. Gobierno de Navarra. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Retrieved January 24, 2020, from <https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/inventario-cartografia/inventario-forestal-nacional/index.aspx>
- Martínez, C. (2007). *Heterogeneidad espacial y temporal en el dosel de un pinar de Pinus sylvestris L. Implicaciones en el sotobosque*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Departamento de Ecología. Universidad Autónoma de Madrid.
- Meteo Navarra. (2020a). *Ficha climática de la estación - Urzainqui*. http://meteo.navarra.es/climatologia/fichasclimaticas_estacion.cfm?IDEstacion=226
- Meteo Navarra. (2020b). *Fichas climáticas - Navascués*. <http://meteo.navarra.es/climatologia/selfichaclima.cfm?IDEstacion=178&tipo=MAN>
- Montero, G., Río, M., & Roig, S. (2016). *Selvicultura de Pinus sylvestris*. Instituto Nacional de Investigaciones y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Madrid.
- Navarro, F. B., Romero-Freire, A., Del Castillo, T., Foronda, A., Jiménez, M. N., Ripoll, M. A., Sánchez-Miranda, A., Huntsinger, L., & Fernández-Ondoño, E. (2013). Effects of thinning on litterfall were found after years in a *Pinus halepensis* afforestation area at tree and stand levels. *Forest Ecology and Management*, 289, 354–362. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.026>
- Nègre, F. (2020). *La Unión Europea y los bosques*. Parlamento Europeo. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/105/la-union-europea-y-los-bosques>
- Olabe, F., Val, Y., & Schwendtner, Ó. (2010). *Monumentos Naturales de Navarra*. Gobierno de Navarra, Gestión Ambiental Viveros y Repoblaciones de Navarra y Obra Social “La Caixa.”
- Peralta de Andrés, J. (n.d.). *Biogeografía*. Mapa de Vegetación Potencial de Navarra 1:25.000. Retrieved April 2, 2020, from http://www.cfnavarra.es/agricultura/informacion_agraria/MapaCultivos/htm/biogeografia.htm
- Peralta, J. (2010). *Vegetación Potencial de Navarra 1:25.00. Comarca Agraria II: Pirineos*. Memoria y mapa. Informes Técnicos. Sec. de Evaluación de Recursos Agrarios. Dpto. de Desarrollo Rural y Medio Ambiente. Gobierno de Navarra. Pamplona.
- Pretzsch, H., del Río, M., Ammer, C., Avdagic, A., Barbeito, I., Bielak, K., Brazaitis, G., Coll, L., Dirnberger, G., Drössler, L., Fabrika, M., Forrester, D. I., Godvod, K., Heym, M., Hurt, V., Kurylyak, V., Löf, M., Lombardi, F., Matović, B., ... Bravo-Oviedo, A. (2015). Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe. *European Journal of Forest Research*, 134(5), 927–947. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0900-4>
- Pretzsch, H., del Río, M., Schütze, G., Ammer, C., Annighöfer, P., Avdagic, A., Barbeito, I., Bielak, K., Brazaitis, G., Coll, L., Drössler, L., Fabrika, M., Forrester, D. I., Kurylyak, V., Löf,

- M., Lombardi, F., Matović, B., Mohren, F., Motta, R., ... Bravo-Oviedo, A. (2016). Mixing of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) enhances structural heterogeneity, And the effect increases with water availability. *Forest Ecology and Management*, 373, 149–166. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.043>
- Primicia, I. (2012). *Influence of thinning intensity and canopy type on the internal nutrient cycling and the Scots pine secondary growth in a mixed forest in western Pyrenees*. Tesis Doctoral. Universidad Pública de Navarra. Pamplona.
- Primicia, I. (2013). Influencia de la intensidad de clara y tipo de dosel en el ciclo interno de nutrientes y el crecimiento secundario de pino silvestre en un bosque mixto de los Pirineos occidentales. *Revista Ecosistemas*, 22(3), 131–135.
- Roig, S., Del Río, M., Cañellas, I., & Montero, G. (2005). Litter fall in Mediterranean *Pinus pinaster* Ait. stands under different thinning regimes. *Forest Ecology and Management*, 206(1–3), 179–190. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112704008011>
- Santa Regina, I., Tarazona, T., & Calvo, R. (2000). Aboveground biomass in a beech forest and a scots pine plantation in the Sierra de la Demanda area of northern Spain. *Annales Des Sciences Forestieres*, 54(3), 261–269. <https://doi.org/10.1051/forest:19970304>
- Santamaría, G. (2008). *Tipificación de las Claras*. E.T.S.I.A. Ingeniería Técnica Forestal. Palencia. <https://sites.google.com/site/gnzlsantamaria/tiposdeclaras2>
- Sarriés, J. (2018). *Influencia de la gestión forestal en la estructura de un bosque mixto del Pre-Pirineo de Navarra (Garde)*. Trabajo Fin de Grado. Universidad Pública de Navarra. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Ciencias del Medio Natural. Pamplona.
- SITNA - Sistema de Información Territorial de Navarra. (n.d.). Retrieved March 31, 2020, from <https://sitna.navarra.es/navegar/>
- Wikipedia. (n.d.-a). *Garde*. Wikipedia, La Enciclopedia Libre. Retrieved March 31, 2020, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Garde>
- Wikipedia. (n.d.-b). *Navascués*. Wikipedia, La Enciclopedia Libre. Retrieved April 13, 2020, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Navascués>
- Zozaya, H. (2019). *Influencia del entorno y de la gestión en la morfología de las raíces finas de P. sylvestris en el Pirineo navarro*. Trabajo Fin de Grado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Departamento de Ciencias del Medio Natural. Universidad Pública de Navarra. Pamplona.